



Trabajo Fin de Grado

Ingeniería de Organización Industrial

Empleo de sistemas de detección satelital y SIG para la estimación de daños en el incendio forestal de Almonaster la Real (2020)

Autor: Pilar Fernández Tercero

Tutores: Dr. Jesús Portillo García-Pintos

Dr. José Lázaro Amaro Mellado



Dpto. Organización Industrial y Gestión de Empresas II
Dpto. de Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2021



Trabajo Fin de Grado
Ingeniería de Organización Industrial

Empleo de sistemas de detección satelital y SIG para la estimación de daños en el incendio forestal de Almonaster la Real (2020)

Autora:

Pilar Fernández Tercero

Tutores:

Dr. Jesús Portillo García-Pintos

Dr. José Lázaro Amaro Mellado

Profesores asociados

Dpto. de Organización Industrial y Gestión de Empresas II

Dpto. de Ingeniería Gráfica

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2021

Trabajo Fin de Grado: Empleo de sistemas de detección satelital y SIG para la estimación de daños en el incendio forestal de Almonaster la Real (2020)

Autor: Pilar Fernández Tercero

Tutores: Dr. Jesús Portillo García-Pintos
Dr. José Lázaro Amaro Mellado

El tribunal nombrado para juzgar el trabajo arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2021

El Secretario del Tribunal

Agradecimientos

A mis tutores, Jesús Portillo García-Pintos y José Lázaro Amaro Mellado, por estar para ayudarme incansablemente y animarme en el sprint final. Todo ha sido posible gracias a ellos que, además de ser unos excelentes profesionales, son magníficas personas.

A mis padres, por los inmensos sacrificios que han realizado para llegar hasta aquí y por la fuerza que me transmiten con su confianza. No soy nada sin vosotros.

A mis hermanos Manolo y Carlos, por estar para mí siempre, en lo bueno y en lo malo. Por contar conmigo para todo y ser mis mejores amigos. Os cuidaré siempre.

Para todos mis amigos, que han estado para alegrarme la vida durante esta etapa. No hubiera disfrutado de ella sin vosotros. Si algo he aprendido de vosotros es que hay tiempo para todo.

Y para mis compañeros, que a pesar de haber estado un año sin vernos, han permanecido siempre al pie del cañón. Gracias por no fallarme nunca, os llevo en el corazón.

Resumen

El uso de los Sistemas de Detección Satelital ha supuesto grandes cambios en la sociedad y ha facilitado la vida diaria en multitud de escenarios. Desde el GPS, utilizado por los dispositivos móviles para la mayoría de sus aplicaciones, hasta la gestión de emergencias mundial, caso de estudio del trabajo.

La unión de la Detección Satelital con los Sistemas de Información Geográfica aporta gran información al estudio cartográfico. A su vez, los sistemas de información geográfica son ampliamente utilizados no solo en la rama de ingeniería, sino también ámbitos dispares tales como la agricultura, la protección de la ciudadanía o la guardia de fronteras.

En el estudio realizado en el trabajo se les da especial relevancia a ambas aplicaciones para proponer una estimación de daños vinculados a una situación de emergencia, en concreto los daños del incendio forestal de Almonaster la Real de 2020, en Huelva. Se pretende con ello ilustrar el potencial de este tipo de herramientas en la gestión de situaciones de emergencia.

Abstract

The use of Satellite Detection has meant far-reaching changes in society and has eased daily life in many scenarios. From the GPS, used by mobile devices for most of their applications, to the global emergency management, the study case of this work.

The union of the Satellite Detection with the Geographical Information Systems (GIS) contributes a great amount of information to the cartographic study. Furthermore, GIS are widely used not only in the engineering industry, but also in a wide range of fields such as agriculture, protection of citizens or border guards.

In the study conducted in the work, special relevance is given to both applications to propose an estimation of the damages linked to an emergency situation, specifically the wildfire that took place in Almonaster la Real (Huelva) in 2020. Thus, the final aim is to show the capabilities of this kind of tools in the management of emergencies.

Índice

| | |
|---|-----------|
| Agradecimientos | 7 |
| Resumen | 8 |
| Abstract | 9 |
| Índice | 10 |
| Índice de tablas | 12 |
| Índice de ilustraciones | 13 |
| 1 Introducción | 15 |
| 2 Estructura del Trabajo | 16 |
| 3 Descripción del sistema de detección satelital Copernicus | 17 |
| 3.1 <i>Descripción general del sistema</i> | 17 |
| 3.1.1 Áreas en las que presta servicio | 17 |
| 3.1.2 Observación satelital: Misiones | 23 |
| 3.1.3 Aplicaciones y beneficios | 24 |
| 3.2 <i>El Sistema de Gestión de Emergencias, EMS</i> | 26 |
| 3.2.1 Descripción | 26 |
| 3.2.2 Componentes del Servicio de Gestión de Emergencias, EMS | 26 |
| 3.2.3 Activaciones | 29 |
| 4 Descripción y utilidad de los sistemas de información geográfica (SIG) | 31 |
| 4.1 <i>Evolución de los SIG</i> | 31 |
| 4.1.1 Historia de los SIG | 31 |
| 4.1.2 Actualidad de los SIG | 32 |
| 4.1.3 Futuro de los SIG | 32 |
| 4.2 <i>Componentes de un SIG</i> | 32 |
| 4.2.1 Datos | 33 |
| 4.2.2 Software | 34 |
| 4.2.3 Hardware | 35 |
| 4.2.4 Personas o recursos humanos | 35 |
| 4.2.5 Procesos o procedimientos | 35 |
| 4.3 <i>Importancia de los SIG</i> | 35 |
| 4.4 <i>Aplicaciones</i> | 36 |
| 4.5 <i>QGIS</i> | 37 |
| 5 Caso de estudio: El incendio forestal de Almonaster la Real, Huelva. Estimación económica de daños | 38 |
| 5.1 <i>Descripción del suceso</i> | 38 |
| 5.2 <i>Datos de partida</i> | 40 |
| 5.2.1 Datos de la detección satelital | 40 |
| 5.2.2 Datos extraídos del Catastro | 43 |
| 5.2.3 Datos para la estimación económica | 45 |
| 5.3 <i>Metodología seguida para la estimación económica de daños</i> | 46 |

| | | |
|--------------------|--|-----------|
| 5.3.1 | Estimación de las pérdidas rústicas. | 48 |
| 5.3.2 | Estimación de las pérdidas urbanas | 53 |
| 5.3.3 | Estimación de las pérdidas en construcciones urbanas | 59 |
| 5.4 | <i>Resultados.</i> | 64 |
| 6 | Conclusiones | 68 |
| Anexo I. | Productos de la Detección Satelital | 69 |
| | Producto de Primera Estimación. Incendio de Almonaster la Real, en Huelva | 69 |
| | Primer producto de Delineación. Incendio de Almonaster la Real, en Huelva | 70 |
| | Segundo producto de Delineación. Incendio de Almonaster la Real, en Huelva | 71 |
| | Producto de calificación. Incendio de Almonaster la Real, Huelva, España. | 72 |
| Referencias | | 73 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Relación de activaciones con la necesidad. | 30 |
| Tabla 2. Ilustración del catálogo de productos ofrecidos por la Sede Electrónica del Catastro. | 44 |
| Tabla 4. Resumen de todos los cultivos encontrados en el área afectada por el incendio. | 52 |
| Tabla 5. Precio por unidad de superficie de cada tipo de cultivo. | 52 |

Índice de ilustraciones

| | |
|--|----|
| Ilustración 1. Áreas en las que presta servicio. | 18 |
| Ilustración 2. Esquema resumen de los servicios que ofrece Copernicus. | 18 |
| Ilustración 3. Ejemplo de análisis de la calidad del aire en Europa a 14 de abril de 2021. | 19 |
| Ilustración 4. Sectores y mercados de la economía azul. | 20 |
| Ilustración 5. Mapa físico sin nubes del continente europeo en 2018. | 21 |
| Ilustración 6. Infografía resumen de todas las misiones SENTINEL. | 24 |
| Ilustración 7. Listado de productos estándares de riesgo y recuperación. | 28 |
| Ilustración 8. Infografía detallada proceso de activación. | 30 |
| Ilustración 9. Funciones de los componentes de un SIG. | 33 |
| Ilustración 10. Esquema explicativo de fuentes toma de datos. | 34 |
| Ilustración 11. Mapa del incendio ocurrido en Almonaster la Real sobre el fondo de WSM del mapa ráster del IGN. | 39 |
| Ilustración 12. Vis en miniatura del mapa de primera estimación. | 41 |
| Ilustración 13. Vista en miniatura del primer mapa de delineación. | 41 |
| Ilustración 14. Vista en miniatura del segundo mapa de delineación. | 42 |
| Ilustración 15. Vista en miniatura del mapa de calificación. | 42 |
| Ilustración 16. Listado de capas disponibles para descargar en la Sede Electrónica del Catastro. | 45 |
| Ilustración 17. Mapa del municipio de Almonaster la Real sobre el fondo de WSM del mapa ráster del IGN. | 47 |
| Ilustración 18. Mapa de superposición del área de Almonaster la Real y el área recorrida por el incendio sobre el fondo de WSM del mapa ráster del IGN. | 49 |
| Ilustración 19. Tabla de atributos resultante de la capa 3_InterSuRus. | 50 |
| Ilustración 20. Mapa de las subparcelas rústicas, clasificadas por tipos de cultivo, afectadas por el incendio sobre el fondo de WSM del mapa ráster del IGN. | 51 |
| Ilustración 21. Parcelas urbanas dentro de Almonaster la Real sobre el fondo de WSM del mapa ráster del IGN. | 54 |
| Ilustración 22. Parcelas urbanas afectadas por el incendio forestal en Almonaster la Real sobre el fondo de WSM del mapa ráster del IGN. | 55 |
| Ilustración 23. Calculadora de campos. Área afectada. | 56 |
| Ilustración 24. Tabla de atributos con campo ‘area_afe’ incluido. | 57 |
| Ilustración 25. Operación para hallar las pérdidas por parcela urbana en la calculadora de campos. | 58 |
| Ilustración 26. Mapa de la superposición de las construcciones urbanas de Almonaster con el área afectada por el incendio sobre el fondo de WSM del mapa ráster del IGN. | 60 |

| | |
|---|----|
| Ilustración 27. Trazado aproximado de la zona afectada por el incendio de Almonaster la Real. | 61 |
| Ilustración 28. Mapa de las construcciones afectadas por el incendio en Almonaster la Real sobre el fondo de WSM del mapa ráster del IGN. | 62 |
| Ilustración 29. Procedimiento de cálculo de las pérdidas por construcción. | 63 |
| Ilustración 30. Procedimiento de cálculo del sumatorio de todas las pérdidas por construcción. Pérdidas totales. | 64 |
| Ilustración 31. Tabla de atributos final. Ejemplo de las 20 primeras subparcelas. | 65 |
| Ilustración 32. Tabla de atributos final para urbana. | 66 |
| Ilustración 33. Tabla de atributos final de las construcciones urbanas. | 67 |

1 INTRODUCCIÓN

Los incendios son un problema inherente en los ecosistemas forestales que se repiten de forma periódica cada año. No obstante, estos incendios deben ser controlados en extensión, duración y daños. Tienen efectos ecológicos, sociales y económicos, por lo que la estimación de estos daños es determinante para el control de las pérdidas y de la biodiversidad.

La estimación de daños hace referencia a las hectáreas que se han quemado, a qué términos municipales pertenecen, o al valor económico. Para ello es también importante analizar las condiciones meteorológicas que se dieron durante el incendio, ayudando así a la prevención de futuros o al control de estos. Se analizan todas las características del fuego como longitud de la llama, velocidad de propagación, combustible consumido, etc.

Los parámetros característicos para analizar el impacto de un incendio forestal podrían ser el análisis de la superficie arbolada autorregenerable, el efecto en la vida silvestre, el riesgo de erosión, la alteración del paisaje o el efecto a la economía local, entre otros.

Para que las estimaciones sean lo más cercanas posible a la realidad se utilizan una serie de herramientas que se explican a lo largo del trabajo: detección satelital y sistemas de información geográfica (SIG). Con ellas se consigue una visualización del territorio afectado, así como un análisis del terreno. A través de la activación realizada en el Servicio de Gestión de Emergencias de Copernicus sobre el incendio forestal a tratar (EMSR457: Forest Fire in Almonaster La Real, Spain) se realizará la estimación de daños.

El objetivo de este trabajo es proponer una metodología de estimación del valor económico de las pérdidas que supuso dicho incendio en el término municipal de Almonaster la Real (Huelva). Para ello, emplearemos tanto la información de la extensión del incendio, como la información catastral (tanto gráfica como del tipo de cultivo), integrando a ambas en un SIG para su análisis y representación gráfica.

2 ESTRUCTURA DEL TRABAJO

La estructura consta de cinco capítulos principales en los que se incluyen la introducción, una breve descripción de la detección satelital y de los sistemas de información geográfica, el caso de estudio y las conclusiones. Se adjunta un anexo para incluir los mapas (productos de la activación por Cartografía Rápida de la EMS, del Programa Copernicus).

En primer lugar, se presenta el tema del trabajo mediante un resumen, tanto en castellano como en inglés, y posteriormente se expone un índice donde se aprecian esquemáticamente todos los puntos a tratar. También se pueden observar un índice de tablas y un índice para las ilustraciones, de manera que se facilite la búsqueda a lo largo del escrito. En el capítulo 1 se encuentra la introducción al tema de estudio. En la introducción se expresa el objeto del trabajo y la importancia de la estimación de daños de un incendio forestal. A su vez, se nombran las fuentes y herramientas utilizadas para dicha estimación, que más tarde serán descritas.

En el capítulo 2, en el que nos encontramos, se explica la estructura del trabajo de forma que queden descritos todos los puntos a tratar. Las descripciones de las metodologías utilizadas en la estimación y en los análisis son explicadas en los capítulos 3 y 4.

En el capítulo 3 se describen los sistemas de detección satelital, dándole especial relevancia al Servicio de Gestión de Emergencias de Copernicus. En este capítulo, se detallan todos los servicios que ofrece el programa Copernicus y todos los sectores económicos a los que les aporta información. Más adelante, en el apartado 3.2 se explica la forma de proceder para solicitar una activación sobre algún accidente, qué tipos de activaciones se encuentran disponibles, cuándo solicitar un tipo u otro y qué productos proporciona el EMS para análisis del caso en cuestión.

Posteriormente, en el capítulo 4 se definen los SIG indicando su evolución histórica, la importancia que reside en ellos, los componentes que lo integran y las aplicaciones que ofrecen.

Más adelante, en el capítulo 5, se analiza en el caso de estudio. En primer lugar, se describe el suceso (incendio forestal de Almonaster la Real, Huelva), se detallan los datos de la activación a través de la observación satelital (fecha de la activación, terrenos afectados y aportando imágenes satelitales) y, seguidamente, se presenta la estimación de daños a través de los SIG.

Para terminar, se presentan los resultados del estudio y las conclusiones a las que se ha llegado a lo largo del trabajo, el anexo con los mapas referentes a la activación del incendio forestal, así como la bibliografía consultada.

3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE DETECCIÓN SATELITAL COPERNICUS

Los ojos de Europa en la Tierra.

- Servicio de Gestión de Emergencias de Copernicus -

3.1 Descripción general del sistema

El Sistema de Detección Satelital Copernicus se inició en 1998 con el fin de mejorar la gestión y conservación del medio ambiente. Para ello, la Unión Europea (UE), a través de la Agencia Europea del Medio Ambiente, y la Agencia Espacial Europea (ESA) crearon el Sistema de forma que fuera posible acceder libremente a información exacta, fiable y continua sobre observación satelital de la Tierra.

Como el nombre inicial del programa indica (*Global Monitoring for Environment and Security, GMES*), se pretende reducir las consecuencias del cambio climático, así como proteger a las personas de posibles desastres naturales. La Tierra se observa en su totalidad por satélites y estaciones de observación *in situ* para cuidar la ‘salud de la Tierra’.

3.1.1 Áreas en las que presta servicio

El Sistema de Detección Satelital Copernicus cuenta con servicios que se dividen en seis ramas: Atmósfera, Marina, Tierra, Cambio climático, Seguridad y Emergencia, tal y como se observa en la ilustración 1. Cada uno de estos servicios proporciona información continua a tiempo real, y cuenta con la capacidad de pronosticar posibles cambios.

En la ilustración 2 se muestra el esquema general de todos los servicios que ofrece Copernicus, explicados a lo largo de este apartado. En él, se explica la cadena de actividades que contempla el programa, desde el Comité y los usuarios, hasta los proveedores de información exhaustiva dividida por ramas en función del área de servicio al que informe.

Los nombres oficiales de cada rama de servicios, así como una breve descripción de su alcance se exponen a continuación:



Ilustración 1. Áreas en las que presta servicio.

Fuente: <https://www.ign.es/web/ign/portal/copernicus/presentacion>

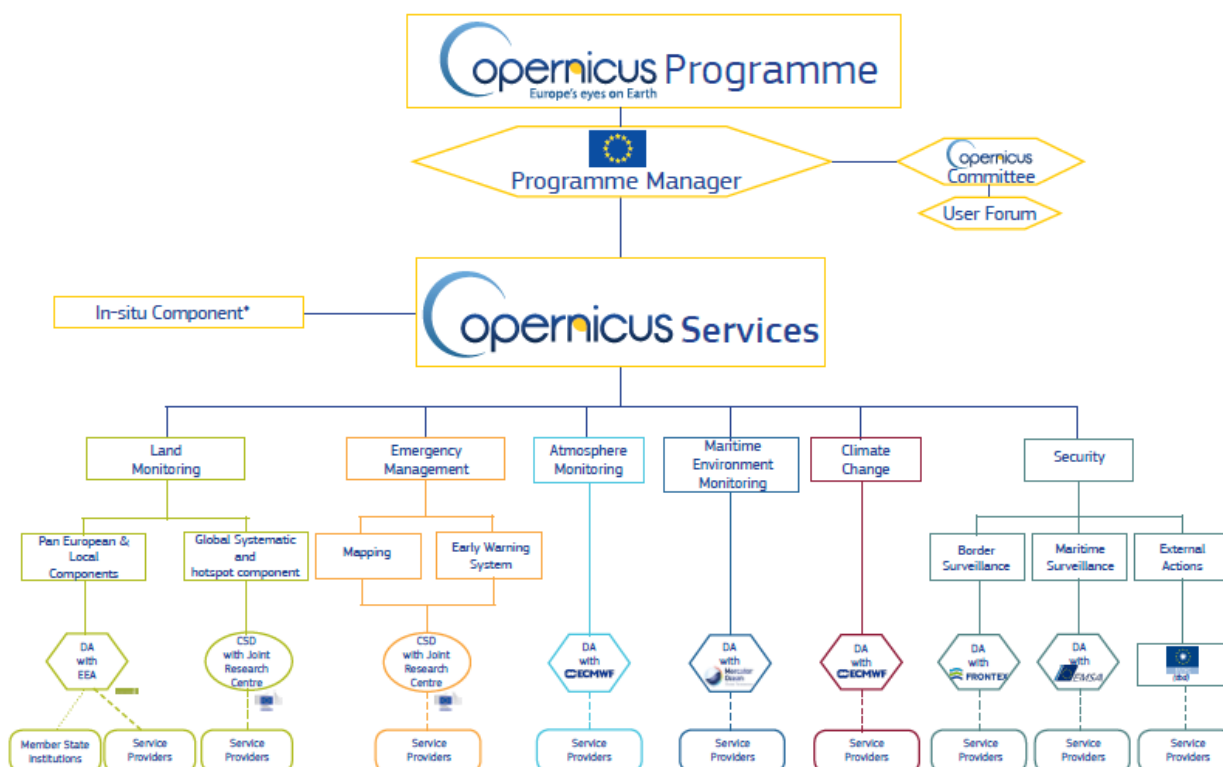


Ilustración 2. Esquema resumen de los servicios que ofrece Copernicus.

Fuente: <https://www.copernicus.eu/es/sobre-copernicus/copernicus-en-pocas-palabras>

El Servicio de Monitoreo de la Atmósfera de Copernicus (CAMs)

Este servicio proporciona información sobre la composición de la atmósfera (1). Es posible obtener datos tanto de la situación actual, como de años anteriores, además de realizar un pronóstico con antelación. La calidad del aire, así como la radiación solar son dos de las actividades más importantes de análisis que realiza esta área centrándose en la contaminación por emisiones, en el cambio climático o en la capa de ozono. La importancia de esta información es sustancial, pues está vinculada a la calidad del aire que los humanos respiramos.

En la ilustración 3 se observa un ejemplo del análisis de la calidad del aire en Europa a 14 de abril de 2021, especialmente del ozono por metro cúbico. Este análisis y las previsiones horarias se realiza con el modelo ENSEMBLE, que recopila los datos aportados por todos los países y los une en un mapa de conjunto (zona restringida: Europa). Algunos de los proveedores (2) de esta información son los siguientes: Centro temático de la atmósfera de ICOS (Francia); CEA, *Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives* (Francia); BIRA, *Koninklijk Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie* (Bélgica), entre otros. Los proveedores principales trabajan con institutos europeos del resto de países para conseguir que la información sea lo más completa y veraz posible. Como se ve en la imagen los niveles de ozono a lo largo del continente oscilan principalmente entre $20 \mu\text{g} / \text{m}^3$ y $80 \mu\text{g} / \text{m}^3$ (tonos azules), exceptuando el norte europeo que ascienden a $100 \mu\text{g} / \text{m}^3$ (tonos verdes). Resulta evidente que los niveles de ozono en la imagen aumentan en las zonas marinas y oceánicas mientras que en las zonas terrestres disminuye.

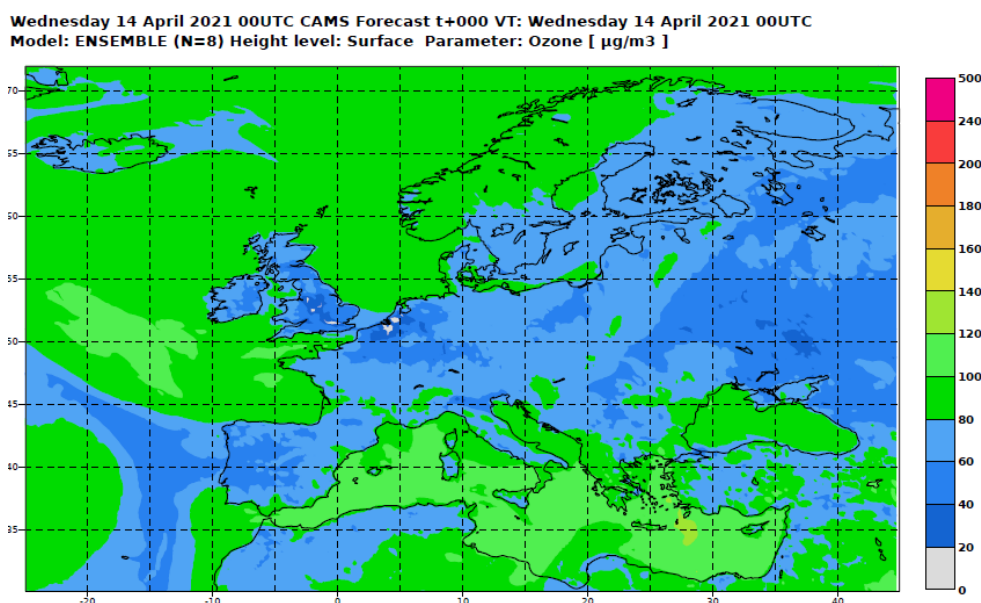


Ilustración 3. Ejemplo de análisis de la calidad del aire en Europa a 14 de abril de 2021.

Fuente: https://regional.atmosphere.copernicus.eu/index.php?category=ensemble&subensemble=hourly_ensemble&date=LAST&calculation-model=ENSEMBLE&species=o3&level=SFC&offset=000

El Servicio de Vigilancia Medioambiental Marina (CMEMS)

Este servicio suministra información continua sobre el estado físico y biogeoquímico de los ecosistemas oceánicos y marinos. A su vez, evalúa la variabilidad y dinámica de los mismos. La observación se realiza tanto del océano mundial como de las aguas europeas y permite aplicaciones de seguridad marítima, recursos marinos, costas y medio marino, meteorología, previsiones estacionales y clima.

El CMEMS apoya a todos los sectores de la economía azul (3), «la economía que reconoce la importancia de

los mares y los océanos como motores de la economía por su gran potencial para la innovación y el crecimiento», según definición de la Unión Europea. Los sectores a los que hace referencia los clasifica en tres áreas de estudio (distinguidas por colores en la ilustración 4): medio ambiente, sociedad y economía. En la ilustración se citan a su vez todos los mercados a los que presta servicio buscando el equilibrio entre las tres áreas y siempre mirando por la calidad tanto de sus datos como, evidentemente, del medio ambiente.



Ilustración 4. Sectores y mercados de la economía azul.

Fuente: <https://marine.copernicus.eu/media/pdf/2999/view>

El Servicio de Monitoreo Terrestre de Copernicus (CLMS)

El servicio facilita información geográfica sobre la cobertura de la tierra y las variables relacionadas con el estado de la vegetación o el ciclo del agua. Algunas de las aplicaciones de las que hace de soporte son el planeamiento espacial, gestión forestal, gestión del agua, agricultura y seguridad alimentaria. Los cinco componentes principales del CLMS son el seguimiento de los parámetros biofísicos, la cartografía de la ocupación, el uso del suelo, la cartografía temática de “puntos calientes” y las imágenes y datos de referencia.

El CLMS (4) clasifica su actividad en cuatro componentes principales: componente global, en el que estudia el estado biogeofísico de la cobertura terrestre de todo el mundo, con una resolución espacial generalmente baja para cubrir toda la superficie; componente paneuropeo, aumenta la resolución para cubrir la zona europea en detalle para estudiar los cambios que puedan aparecer; local, estudiando específicamente áreas propensas a desarrollar problemas terrestres; por último, los datos de referencia, que contiene todas las imágenes tomadas vía satélite, así como todos los análisis de datos realizados. En la ilustración 5 se muestra un ejemplo de imagen satelital del continente europeo.

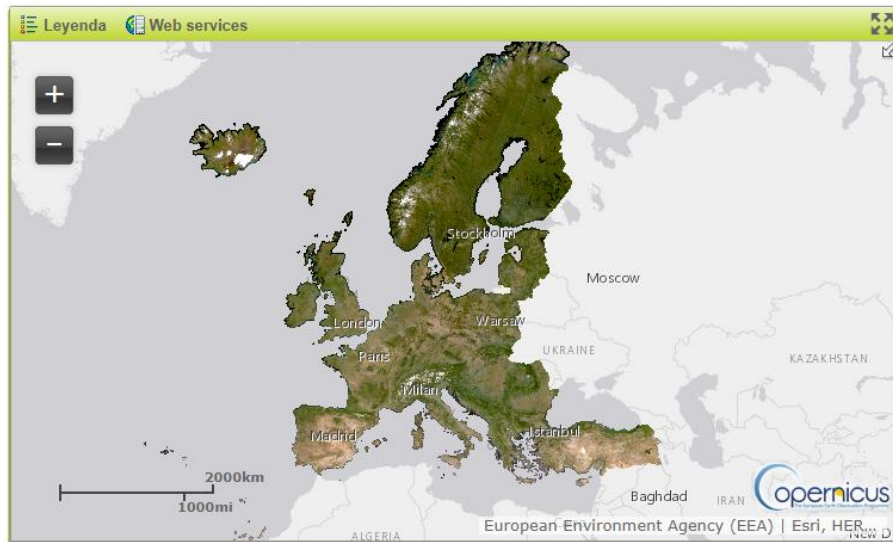


Ilustración 5. Mapa físico sin nubes del continente europeo en 2018.

Fuentes: <https://land.copernicus.eu/imagery-in-situ/european-image-mosaics/high-resolution/high-resolution-image-mosaics-2018/high-resolution-image-mosaic-2018-true-colour-10m> ;
https://image.discomap.eea.europa.eu/arcgis/rest/services/GioLand/HRIM_HR_TrueColour_2018/ImageServe
 1

El Servicio de Cambio Climático de Copernicus (C3S)

Este servicio proporciona información y datos climáticos sobre la situación climática actual, pasada y futura. La misión es colaborar con las políticas de mitigación y adaptación de la UE. Cuenta con un repositorio de datos climáticos (CDS) para que los usuarios puedan acceder a esta información, siempre fidedigna. La prestación del Servicio de Cambio Climático de Copernicus está a cargo del Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Medio Plazo (CEPMMP), que actúa por cuenta de la Comisión Europea.

El C3S (5) aporta información totalmente fidedigna sobre la situación climática mensualmente. Estos informes están disponibles en la web del servicio en la que, entre otras cosas, se estudian los eventos climáticos principales que se han dado durante ese mes, los indicadores climáticos claves, las variaciones de temperaturas, precipitaciones, nubosidad y radiaciones, etc.

El servicio parte de las observaciones de la Tierra. Las observaciones serán el conjunto de las imágenes aerotransportadas, tomadas vía satélite y las terrestres, tomadas por los puntos in situ localizados por todo el globo terráqueo. Una vez que las observaciones están completas se procede a la modelización, es decir, se buscan procedimientos, pautas de actuación y modelos interpretativos con los que se mejore la calidad de las distintas secciones que estudia: industria, temperatura del aire, caudal de los ríos, ciudades, agricultura, océanos, velocidad del viento, etcétera. Posteriormente, los datos recogidos se almacenan para garantizar la calidad de los estudios. El C3S divide la atención en tres actividades principales:

- Datos primarios. Los datos obtenidos ayudan a crear observaciones retrospectivas, así como, también estudiando el tiempo pasado, a reconstruir el tiempo meteorológico. Por otro lado, pronostica las futuras temporadas y realiza proyecciones del clima.
- Herramientas para profundizar. Los estudios climáticos mundiales se ven favorecidos por los datos recabados y analizados. Para ello, C3S da clara importancia a mejorar la accesibilidad de estos datos para todos los usuarios interesados en estudios climáticos.
- Ayuda al uso práctico de los datos. A través de la web y sus distintas plataformas los datos quedan totalmente accesibles. C3S trabaja para realizar aplicaciones, estudios de los distintos casos y boletines periódicos sobre el clima para que los usuarios estén actualizados sin necesidad de realizar los profundos análisis.

Los usuarios finales que contemplan y utilizan las tres aplicaciones explicadas pueden ser: usuarios individuales (los datos son públicos), empresas, gobiernos y responsables políticos, comunidad científica, y gran público en general.

El Servicio Copernicus para aplicaciones de Seguridad

Proporciona información en respuesta a los retos de seguridad de Europa. Trabaja en tres ámbitos clave: vigilancia de fronteras, vigilancia marítima y apoyo a la acción exterior de la UE. Tiene como objetivos mejorar la prevención, preparación y respuesta ante crisis o eventos que puedan tener implicaciones en la seguridad mundial. Ofrecen informe de las actividades humanas en la tierra y explora planes de evacuación en caso de accidentes, sean naturales o no.

La vigilancia de fronteras se realiza a través de FRONTEX (6), Agencia Europea de Guardia de Fronteras y Costas. Con las observaciones del programa Copernicus, la Agencia se centra en las operaciones principales y de extrema seguridad, en el crimen transfronterizo, en el fraude de documentos e identidad, en la cooperación europea en funciones de guardacostas y en los recursos compartidos. Hace hincapié en las rutas migratorias y en los respectivos mapas.

El Servicio de Vigilancia marítima, a través de EMSA (*European Maritime Safety Agency*) (7), controla la actividad humana en los océanos. A través de nueve misiones satelitales desarrolla su trabajo en seis áreas fundamentales: control de la pesca, seguridad y protección marítima, cumplimiento de la ley, monitoreo de la contaminación marina, control de aduanas y otras más generales como el apoyo a las organizaciones internacionales.

El Servicio Copernicus de apoyo a la acción exterior de la UE (8) se dedica al desarrollo de productos de geointeligencia para apoyar a la Unión Europea en sus operaciones e intereses fuera del territorio europeo. Basándose en imágenes vía satélite, el Servicio es capaz de responder a conflictos en cortos periodos de tiempo o llevar a cabo estudios más prolongados para analizar cambios. Como todos los servicios que proporciona el Programa Copernicus, el apoyo de la acción exterior utiliza las observaciones satelitales, así como toda la información disponible para satisfacer las necesidades europeas.

El Servicio de Gestión de Emergencias de Copernicus (Copernicus EMS)

El EMS ofrece información geoespacial puntual y precisa a todos los agentes que participan en la gestión de catástrofes naturales, situaciones de emergencia de origen humano y crisis humanitarias. Realiza análisis exhaustivos para mejorar el proceso de toma de decisiones de los gestores de emergencias. Consta de un componente cartográfico que da soporte a las fases de gestión de emergencias (preparación, prevención, reducción del riesgo de catástrofes, respuesta a emergencias y recuperación), se denomina mapeo bajo demanda. A su vez consta de un componente de alerta temprana que se divide en tres secciones dedicadas a inundaciones, a incendios forestales y a la sequía. En el apartado 3.2 se encuentra una profundización de este Servicio debido a que su descripción es de importancia para el desarrollo del caso de estudio.

3.1.2 Observación satelital: Misiones

Los datos procedentes del espacio se apoyan en una familia de satélites llamados Sentinel (ilustración 6), que satisfacen los servicios anteriormente definidos. Desde el lanzamiento del primer satélite en 2014 (Sentinel1A), la Unión Europea puso en marcha un proceso mediante el cual se pondrá en órbita una constelación de más de una docena de satélites en los siguientes diez años. Sentinel -1,-2,-3 y -6 (así como el -5P, precursor de Sentinel-5) son satélites propios, y los satélites Sentinel-4, y -5 son instrumentos a bordo de satélites meteorológicos de Eumetsat. Las misiones Sentinel (9) se describen a continuación:

- Sentinel-1 es una misión radar en órbita polar capaz de tomar imágenes en cualquier condición meteorológica para estudiar la superficie de la tierra y océanos.
- Sentinel-2 es una misión multiespectral de alta resolución en órbita polar diseñada para monitorizar la superficie terrestre estudiando la cubierta vegetal, los usos del terreno y de las aguas, los cauces navegables y las zonas costeras. A esto último, se le suma el apoyo que presta a la gestión de emergencias.
- Sentinel-3 transporta distintos instrumentos para medir la elevación, temperatura o color de la tierra de los océanos con gran precisión y fiabilidad. Esta misión apoya en gran medida a los servicios de pronóstico marítimo y monitorización del clima.
- Sentinel-4 es un instrumento embarcado en un satélite MetOP de Segunda Generación que monitoriza la atmósfera desde una órbita polar.
- Sentinel-5-Precursor es un satélite concebido para reducir la discontinuidad de datos entre las misiones Envisat y Sentinel 5. Esta misión está dedicada al estudio de la atmósfera.
- Sentinel-5 proveerá de monitorización de la composición atmosférica de toda la Tierra y será embarcado a bordo del satélite MetOp de Eumesat en 2021.
- Sentinel-6 servirá para medir la topografía de los océanos a nivel mundial, un indicador clave del cambio climático y de interés para estudios oceanográficos.

Por otro lado, Copernicus también cuenta con infraestructuras espaciales ya existentes conocidas como ‘‘Misiones Participantes’’. Estas suministran datos satelitales para el programa desde sus inicios y continuarán haciéndolo en un futuro, en particular cuando se necesiten datos de muy buena resolución (emergencias o seguridad). Estas misiones están dirigidas por organizaciones nacionales, europeas o internacionales.



Ilustración 6. Infografía resumen de todas las misiones SENTINEL.

Fuente: <https://www.ign.es/web/ign/portal/copernicus/componentes-y-servicios#:~:text=Componente%20espacio,de%20datos%20de%20alta%20calidad.>

3.1.3 Aplicaciones y beneficios

Existen variedad de servicios que aumentan el valor añadido de Copernicus en la vida diaria de los ciudadanos, muchos mencionados anteriormente. Además de ampliar la visión y comprensión de nuestro planeta con un sistema integrado, Copernicus también ofrece aplicaciones específicas en varios sectores. Se muestran a continuación:

Agricultura

Se realizan evaluaciones periódicas de los cultivos monitorizando su desarrollo a escala regional y mundial. Así, se evalúa la seguridad alimentaria y es posible estimar la cosecha de una temporada. Sirve de apoyo para las prácticas agrícolas sostenibles, como puede ser el uso eficiente del agua para riego.

Protección civil y asistencia humanitaria

El Centro de Coordinación de la Respuesta a Emergencias consigue una amplia información sobre los grandes desastres y las crisis humanitarias. Los desastres naturales (o de origen humano) pueden ser observados y localizados rápidamente con el objetivo de facilitar información para los servicios de rescates de la población, la demografía, la logística, las infraestructuras sanitarias y las de abastecimiento.

Cambio climático

Con el Sistema de Detección se llevan a cabo pruebas sólidas de variables geofísicas relativas al cambio climático. Se analizan los indicadores climáticos para identificar posibles anomalías que den pie a un futuro problema. Alguno de los indicadores estudiados son el aumento de temperatura, el deshielo, aumento del nivel del mar, calentamiento de los océanos.

Energía

La utilización de energía renovable es otra de las aplicaciones clave del programa Copernicus. El Sistema evalúa el uso eficiente de la energía para plantas industriales y edificios. Provee de información sobre determinadas variables para el seguimiento de infraestructuras críticas como las plantas nucleares o la protección de centrales eléctricas.

Medio ambiente

El Sistema de Detección monitoriza características ambientales tales como la composición de la atmósfera y de la biodiversidad, entre otras. Realiza el seguimiento de los bosques y zonas costeras, analiza la evolución de los suelos, los daños forestales y la desertificación. En cuanto a los océanos, realiza la vigilancia de estos, así como de los mares europeos, de la fauna y flora marina y la calidad de las aguas.

Salud

La salud de la ciudadanía es prioritaria para el programa Copernicus. Mediante el Sistema de Detección se controla la calidad del aire a escala europea y monitoriza posibles brotes de epidemias preparando la respuesta a emergencias de salud pública.

Seguros

Apoya a la estimación de riesgos y evaluación de daños. Se dedica a su vez a la gestión de reclamaciones.

Turismo

El programa Copernicus ofrece información sobre zonas potencialmente turísticas y ayuda a planificar ciertas actividades estacionales contribuyendo a la protección del patrimonio natural y cultural.

Transporte

Monitoriza las rutas de navegación marinas y aéreas y apoya el tráfico en caso de situaciones extremas. Realiza la vigilancia de vertidos de petróleo y evalúa riesgos geológicos y ambientales en zonas críticas para el transporte terrestre.

Seguridad

Apoya las acciones exteriores de la Unión Europea para mantener la paz. Controla las fronteras marítimas y terrestres de Europa.

3.2 El Sistema de Gestión de Emergencias, EMS

3.2.1 Descripción

La actividad del Sistema de Gestión de Emergencias de Copernicus es fundamentalmente el uso de imágenes satelitales y datos geoespaciales tomados por los diferentes recursos del Programa Copernicus para la gestión de todas las fases del ciclo de gestión de emergencias (preparación, mitigación, prevención, respuesta de emergencia, recuperación). El EMS trabaja a través de activaciones que solo podrán crear usuarios autorizados mientras que cualquier usuario podrá tener acceso a la información ya recabada de todas las activaciones, así como de los mapas disponibles.

El EMS, a través de las misiones Sentinel, junto con algunas misiones espaciales o proyectos de los países miembros de la UE, consigue ventajas como: lograr la manera de acceder a ubicaciones complicadas; conocer las inclemencias meteorológicas en situaciones de poca visibilidad a través de los satélites-radar como puede ser el Sentinel-1; realizar barridos exhaustivos de terrenos en busca de daños en infraestructuras que puedan suponer un peligro para la población; observar cambios en las áreas de interés para identificar cambios que puedan desencadenar alguna crisis. Todas estas ventajas están limitadas cuando los satélites que aportan la información son de carácter óptico (no de carácter radar), que emitirán imágenes de poca calidad con la presencia de nubes, humo o calima, así como solo será posible tener una buena visibilidad durante las horas de luz.

3.2.2 Componentes del Servicio de Gestión de Emergencias, EMS

En primer lugar, el EMS diferencia tres componentes principales para lograr la eficacia del servicio.

1. Cartografía Rápida (RM) (10). Tiene como función proveer al usuario de la información relativa a una emergencia presente o inminente. El servicio funciona bajo demanda y devuelve los datos en un rango de cero a cinco días, es decir, está enfocado en la asistencia a la emergencia para poder actuar de forma precisa cuando el tiempo es crucial. Los datos devueltos por el Sistema son el resultado de la adquisición, procesamiento y análisis de las imágenes satelitales recogidas y de otros datos como datos vectoriales (carácter especial de los datos geográficos), ráster geoespaciales (imágenes digitales representadas en píxeles) o información proveniente de redes sociales si fuera necesario).

Los productos que proporciona el sistema de cartografía rápida se clasifican en:

- Productos de referencia. Único producto que informa sobre la situación previa al evento. Aporta toda la información topográfica disponible sobre la zona afectada. El producto se basa en alguna imagen tomada de la zona afectada (o lo más cercana posible) previamente a la activación de la emergencia. Proporciona los “mapas de referencia”.
- Productos de Primera Estimación (FEP). Producto derivado de la imagen posterior a la activación de emergencia de las zonas más afectadas y proporciona una evaluación rápida del evento (información temprana). Este producto puede utilizarse para resaltar las áreas afectadas, para revisar las especificaciones iniciales del producto o para decidir sobre la cancelación de los productos de delineación o clasificación solicitados inicialmente.
- Productos de delineación. Tras el evento de emergencia, se realiza una evaluación del impacto y del alcance de la situación, así como una actualización a través de monitoreo. Proporciona los

“mapas de delineación”.

- Productos de calificación. Es el producto que evalúa el grado de daño, distribución espacial y extensión. Es posible solicitar un seguimiento de la situación de emergencia. Se basa en el conjunto de los productos de delineación y de calificación de daños, es por esto que se podrá dividir la información delineación/calificación solo si se solicitó previamente el producto de delineación. Proporciona los “mapas de calificación”.

Los productos serán en resumen información derivada de satélites compatibles con SIG y estarán estandarizados para facilitar su utilización por parte de los usuarios.

2. Cartografía de riesgo y recuperación (RRM) (11). Tiene como función proporcionar información bajo demanda, al igual que el mapeo rápido. Al contrario que la cartografía rápida, este tipo de cartografía no incluye respuesta inmediata sino que se centra en las fases de prevención, preparación, reducción de riesgos y recuperación. La cartografía se divide en dos categorías: Programa de Riesgo y Recuperación ESTÁNDAR (*Portfolio Risk and Recovery STANDARD*), una lista de productos predefinidos (ilustración 7); y Programa de Riesgo y Recuperación FLEX (*Portfolio Risk and Recovery FLEX*), que ofrece dos opciones de actuación: la primera, elegir dentro del conjunto Estándar las características del desastre; la segunda, solicitar información para la situación dada por medio de un texto libre donde se especifiquen las necesidades del usuario. Este último programa FLEX está enfocado en ayudar a los países miembros con grandes proyectos de prevención de accidentes y desastres, así como en la Protección Civil de la Unión Europea. Los principales objetivos cubiertos por este servicio son la protección de la población, infraestructuras críticas, redes de transportes, ecosistemas naturales, agricultura y activos económicos. Existen tres categorías de mapas que se proporcionan a través de los productos:

- Mapas de referencia. Informa sobre el terreno, de la población afectada y de los activos expuestos.
- Mapas de situación previos al desastre. Ayudan a los servicios de protección a fijar el plan de contingencia. Facilitan localizar a la población y los activos de forma que sea posible rescatar a personas o relocalizarlas con el objetivo de minimizar las pérdidas y los daños.
- Mapas de situación posteriores al desastre. Proporcionan información actualizada del desastre para facilitar el rescate o desalojo de personas, para controlar el impacto y para plantear el plan de recuperación de la zona.

| | hora | Descripción |
|---|-----------|-------------------------|
| Inundaciones | | |
| P04 Delineación de inundaciones | 5-10 días | Descargar PDF [449 KB] |
| P05 Extensión de inundación modelada para eventos importantes | 5-10 días | Descargar PDF [458 KB] |
| P06 Análisis temporales de inundaciones ocurridas | 2-5 días | Descargar PDF [435 KB] |
| Incendios forestales / incendios forestales | | |
| P07 Delineación y clasificación de incendios forestales | 5-10 días | Descargar PDF [405 KB] |
| P16 Evaluación del riesgo de erosión del suelo después de un desastre | 5 días | Descargar PDF [349 KB] |
| P17 Evaluación del riesgo de deslizamientos de tierra después de un desastre | 5 días | Descargar PDF [336 KB] |
| Evaluación de daños y seguimiento de la reconstrucción | | |
| P08 Análisis detallados de evaluación de daños en las áreas afectadas | 5-15 días | Descargar PDF [448 KB] |
| P09 Seguimiento de la reconstrucción | 5 días | Descargar PDF [468 KB] |
| Evaluación de impacto / exposición después de un desastre | | |
| P14 Evaluación de impacto / análisis de exposición sobre activos y población | 3 días | Descargar PDF [1365 KB] |
| P15 Evaluación de impacto / análisis de exposición detallados sobre el aspecto seleccionado | 3 días | Descargar PDF [469 KB] |
| Crisis humanitaria | | |
| P10 Análisis de crecimiento de la ciudad | 2-3 días | Descargar PDF [338 KB] |
| P11 Evaluación de la huella humana de las ciudades a través del análisis de la luz nocturna | 2 días | Descargar PDF [330 KB] |
| P18 Mapeo de asentamientos humanos | 5-10 días | Descargar PDF [350 KB] |
| P19 Ubicación / seguimiento de los desplazamientos de población | 5-10 días | Descargar PDF [278 KB] |
| Deformación del suelo | | |
| P12 Análisis de deformaciones del suelo | 5-7 días | Descargar PDF [388 KB] |
| Dato de referencia | | |
| P02 Conjunto de datos de referencia | 5-15 días | Descargar PDF [430 KB] |
| P03 Conjunto de datos de uso de la tierra y cobertura de la tierra | 5-15 días | Descargar PDF [396 KB] |
| P20 Conjunto de datos de referencia detallado para áreas de gran importancia | 5-15 días | Descargar PDF [421 KB] |
| P01 Modelo de superficie digital | 5-10 días | Descargar PDF [288 KB] |
| Diseños de mapas para imprimir | | |
| P13 Listo para imprimir mapas y libros de mapas para campañas de campo | 2-3 días | Descargar PDF [267 KB] |

Ilustración 7. Listado de productos estándares de riesgo y recuperación.

Fuente: <https://emergency.copernicus.eu/mapping/ems/risk-and-recovery-mapping-portfolio>

3. Servicio de Alerta Temprana (*Early Warning and Monitoring*) (12). Tiene como función prevenir a las autoridades de la posibilidad a que se produzcan incendios, inundaciones y sequías. Al prevenir y avisar, las autoridades son capaces de planear las actuaciones necesarias con tiempo y así reducir pérdida de vidas y daños. Son tres los sistemas que componen este servicio:
 - Sistemas Europeos de Alerta de Inundaciones (EFAS) y los Sistemas Globales de Alerta de Inundaciones (GloFAS). La función de este servicio se basa en pronosticar el riesgo de inundaciones e informar a las partes interesadas. Se centra en los cauces fluviales de Europa y en las cuencas fluviales transnacionales donde el riesgo es mayor. Además de pronosticar, se dedica al seguimiento de estos cauces (13).
 - Sistema Europeo de Información sobre Incendios Forestales (EFFIS). Este servicio dedica su actividad a informar a los países miembros de la UE y a los países vecinos sobre los incendios forestales, aportando datos actualizados tanto de los pronósticos, como de los incendios activos, como de los daños provocados. Los módulos específicos en los que se centra el Sistema son los siguientes: el pronóstico de peligro de incendio, la detección activa de incendios, la evaluación rápida de daños, la evaluación de daños por incendio, la actualización de la base de datos europea sobre incendios, los combustibles probables de provocar un incendio y los estudios en desarrollo (14).
 - Observatorio de la Sequía (OD, EDO, GDO (15,16). Las siglas hacen referencia a los distintos observatorios estatales, europeo y global, respectivamente. Estos observatorios, en particular el

europeo, Observatorio Europeo de la Sequía, trabajan estudiando los ciclos hidrológicos y los efectos específicos de las sequías. Esto lo realiza a partir de una serie de indicadores: índice estandarizado de precipitación, índice estandarizado de nieve acumulada, anomalía de la humedad del suelo, anomalía del estado de la vegetación, índice de caudal bajo, índice de olas de calor y de frío e indicador combinado de sequía. El EDO facilita la información sobre sequías actuales, mapeos de los diferentes terrenos en sequía, observar la evolución de la sequía, entre otras.

Además de la cartografía, actividad principal del servicio, se lleva a cabo un proceso de Validación (VAL) (17). La validación se efectúa a partir de un protocolo desarrollado por el Centro Común de Investigación (CCI) de la Comisión. Se enfoca en aumentar el valor añadido del proceso y llevar a cabo una mejora continua del servicio (controles de calidad). Así, la validación trata de recomendar soluciones y mejoras alternativas sobre el terreno tecnológico y de procesamiento para el Servicio de Cartografía. Algunas actividades que se realiza para la validación son las siguientes: evaluación de las características técnicas de los productos; validación de la información temática; búsqueda de fuentes de información alternativas para el análisis de la emergencia; recogida de comentarios de los usuarios en entrevistas específicas y análisis del valor añadido y del impacto de los productos en el flujo de trabajo de los usuarios.

Los criterios (18) con los que el Centro de Coordinación de Respuesta a Emergencias evalúa las activaciones solicitadas son:

- Alcance de la cartografía del servicio EMS. Evalúa si lo solicitado por el usuario entra dentro del alcance del servicio. Las situaciones de emergencia previas a un desastre o crisis humanitarias siempre estarán dentro del alcance del EMS.
- Verificación de viabilidad técnica. Lo solicitado debe ser posible técnicamente por el servicio de mapeo.
- Control de sensibilidad. La información solicitada no puede interferir en intereses políticos y de seguridad de la Unión Europea, ya que estos datos podrían utilizarse tácticamente.
- Verificación de la capacidad de mapeo. El servicio tiene una capacidad limitada de activaciones simultáneas.

3.2.3 Activaciones

Una activación (19) es un servicio que proporciona el Sistema de EMS para alertar de una emergencia y realizar el estudio correspondiente del suceso y sus consecuencias. En función de la necesidad de la activación se dará de una manera u otra. Es decir, el primer paso antes de solicitar una activación es decidir en qué rango de tiempo necesito esta información y para qué la necesito. En la tabla siguiente (tabla 1) se explica cuándo solicitar cada tipo de activación. La solicitud de una activación nunca debe tener relación con intereses políticos o militares, únicamente se aceptarán las activaciones si se trata de situaciones de desastre naturales o provocadas por el hombre, y siempre que el alcance de la activación coincide con el del EMS.

| NECESIDAD | ACTIVACIÓN |
|--|--|
| Emergencia en curso. Hay necesidad de información en 24 horas máximo. | RM. SL1. Cartografía Rápida. Nivel de Servicio 1. Línea operativa 24/7/365 |
| Emergencia no en curso. No hay necesidad de información inmediata. Aproximadamente se requiere en cinco días. | RM. SL2. Cartografía Rápida. Nivel de Servicio 2. Línea operativo 24/7/365 pero solo en horario laboral (no se trabaja por la noche): |
| Emergencia no en curso. No se necesita inmediatez, sino un estudio más detallado. Las necesidades están cubiertas por la cartera de productos ESTÁNDAR | RRM. STD. Cartografía de Riesgo y Recuperación. No se |

| | |
|--|---|
| (ILUSTRACIÓN 7) | especifica tiempo de trabajo. |
| Emergencia no en curso. No se necesita inmediatez, sino un estudio más detallado. Las necesidades NO están cubiertas por la cartera de productos ESTÁNDAR. Se solicitan productos específicos para el estudio en cuestión. | RRM. FLEX. Cartografía de Riesgo y Recuperación. No se especifica tiempo de trabajo. |

Tabla 1. Relación de activaciones con la necesidad.

Existen tres tipos de usuarios: Usuarios autorizados (AU); Usuarios asociados (ASCU); Público en general (GPU). De ellos, solo los Usuarios Autorizados pueden solicitar una nueva activación. En particular, estos usuarios son organizaciones a nivel regional, nacional, europeo e internacional tanto relacionados con la Gestión de Emergencias como con la ayuda humanitaria. Los Usuarios Asociados solo podrán solicitar una activación a través de los Autorizados, es decir, pueden hacer uso del Servicio, pero no por cuenta propia.

En la ilustración 8 se muestra una infografía del proceso de solicitud de activación de forma más detallada, especificando quiénes pueden solicitar, por qué vías solicitar y qué productos se obtienen en función de la vía seleccionada.

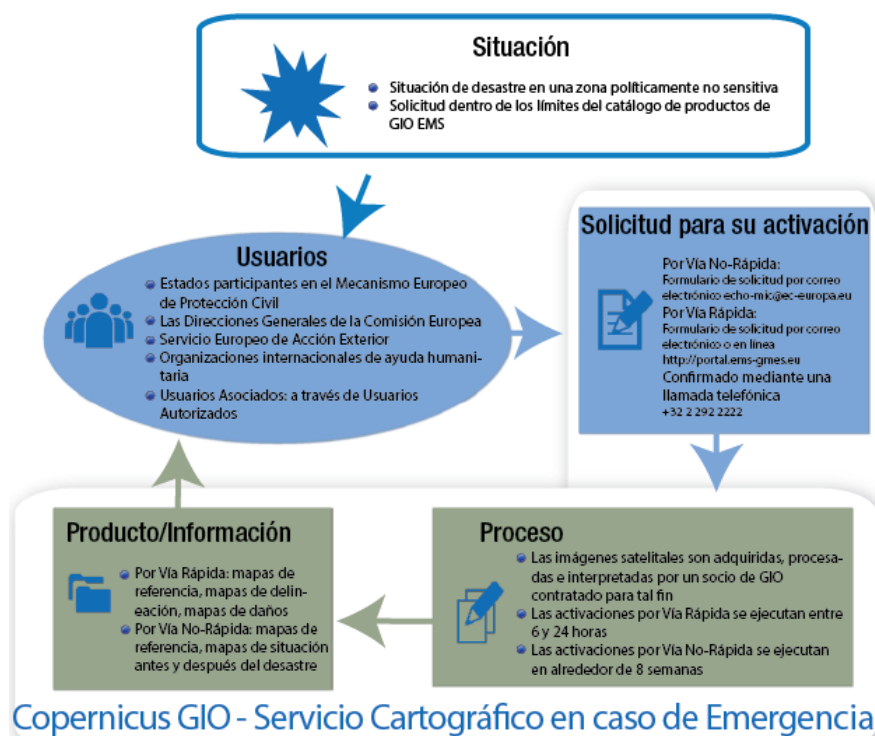


Ilustración 8. Infografía detallada proceso de activación.

Fuente: <https://www.un-spider.org/es/aplicacion-espacial/mecanismos-de-emergencia/copernicus-gio-servicio-cartografico-en-caso-de-emergencias>

4 DESCRIPCIÓN Y UTILIDAD DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

SIG trata de descubrir el significado y conocimiento escondido en los datos. Evoluciona rápidamente y proporciona todo un nuevo marco de trabajo y proceso para la comprensión.

Jack Dangermond, CEO, ESRI.

En este capítulo vamos a describir los Sistemas de Información Geográfica ya que serán de interés en el desarrollo de la estimación. El objetivo fundamental de los SIG es la producción de información nueva como apoyo a cualquier proceso de toma de decisiones. Con estos sistemas se consigue describir y categorizar la Tierra y otras geografías fundamentalmente con mapas. Esta información constituye una metáfora eficaz para modelar y organizar la información geográfica en forma de capas temáticas.

Un Sistema de Información Geográfica (20) es el conjunto de recursos que, ordenadamente relacionados entre sí, contribuyen a la adquisición o comunicación de conocimientos que en la actualidad se poseen sobre el territorio, con el fin de ampliarlos siguiendo procesos de análisis o de precisarlos siguiendo procesos de síntesis para facilitar la toma de decisiones, mediante el manejo de información adecuada en cada caso.

Los recursos que pueden ser los medios auxiliares para el manejo de toda la información necesaria dentro del Sistema son los datos geográficos de representación de elementos, o datos que describen, tanto geométrica como conceptualmente, esos elementos. A su vez, se cuenta con los procedimientos para elaborar la información y obtener productos derivados, así como los recursos humanos que gestionan todo el Sistema, junto con el *Software* y *Hardware* necesarios.

4.1 Evolución de los SIG

Los Sistemas de Información Geográfica han evolucionado (21) desde ser una herramienta rudimentaria a convertirse en una poderosa plataforma para comprender y planificar nuestro mundo.

A continuación, se hará un recorrido histórico sobre todos los hitos que han provocado el crecimiento de este tipo de sistemas de información, así como una breve estimación sobre la expansión futura.

4.1.1 Historia de los SIG

Al principio de los años sesenta se introdujo en la ciencia el campo de los Sistemas de Información Geográfica. Durante esos años emergían los primeros conceptos de geografía cuantitativa y computacional (22). Esta investigación clave se formalizó por el Centro Nacional para Información Geográfica y Análisis, dirigido por Michael Goodchild. Estos estudios consolidaron una revolución cuantitativa que sentaron las bases de SIG.

El primer SIG computarizado del mundo fue obra del pionero Roger Tomlinson, de Canadá, en 1963. La motivación para la creación del Sistema fue la necesidad de un inventario gestionable de los recursos naturales,

y, junto a la computación automatizada de grandes volúmenes de datos surgió los llamados actualmente SIG.

En 1994, se creaba uno de los primeros programas de *software* de cartografía, el SYMAP, que conllevaría la fundación del Laboratorio de Harvard para Gráficos por Computadora en 1995.

Por otro lado, en 1969, Jack Dangermond (Harvard) y Laura Dangermond fundaron el Instituto de Investigaciones de Sistemas Ambientales (ESRI, en sus siglas en inglés). Esta era una firma consultora que aplicaba la realización de mapas para administrar los recursos naturales en los diversos territorios. Así se demostró el valor de los SIG para la resolución de problemas y aumentó el interés por las herramientas *software* que hoy se siguen utilizando.

Tras una serie de importantes innovaciones a lo largo de los años, ESRI consiguió desarrollar herramientas más completas ampliamente utilizadas. El trabajo del Instituto logró reconocimiento académico rápidamente y creó en 1981 el primer producto SIG comercial, ARC/INFO, con el principal objetivo de analizar un número creciente de proyectos de forma efectiva. Posteriormente, los SIG han evolucionado hasta el punto de “poder interconectarse entre ellos”, formado parte de Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE), donde los datos no residen “en local” sino alojados en servidores mantenidos por diversas instituciones, tanto públicas como privadas.

4.1.2 Actualidad de los SIG

Actualmente un SIG es un medio para compartir datos y colaborar, basado en una continua, superpuesta e interoperable base de datos mundial. Hoy, una gran cantidad de organizaciones comparten su trabajo creando millones de mapas todos los días para resolver problemas del mundo real, contra historias, revelar patrones, tendencias y relaciones sobre cualquier temática imaginable.

4.1.3 Futuro de los SIG

La evolución del planeta va a conllevar la evolución y mejora de los SIG. El mundo se está enfrentando continuamente a la expansión de la población, a la deforestación o a la contaminación, y se cree que los SIG jugarán un papel protagonista en la lucha de estos desafíos. La toma de decisiones mediante cartografía se convertirá, aún más si cabe, en una herramienta clave para abordar los problemas que se presenten en el futuro.

4.2 Componentes de un SIG

Un Sistema de Información Geográfica consta de componentes específicos (23) que permiten consultar, analizar e interpretar la información en diversos contextos. Cada uno de estos componentes son los mostrados en la ilustración 9, junto con los procesos y procedimientos de la organización necesarios para conseguir la eficacia del SIG:

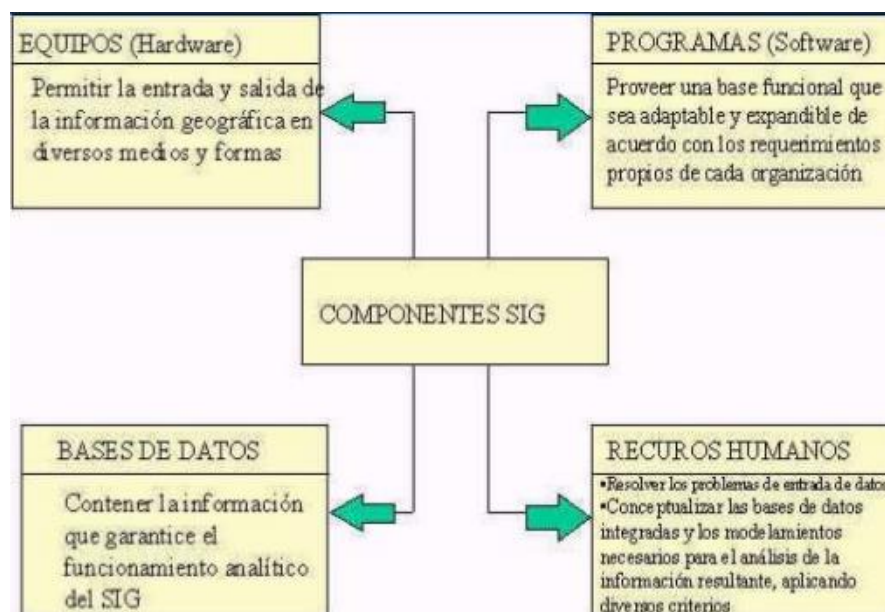


Ilustración 9. Funciones de los componentes de un SIG.

Fuente: <https://www.monografias.com/trabajos/gis/gis.shtml>

4.2.1 Datos

Los datos son la materia prima de los SIG. Con ellos se construyen los productos derivados de la información y son los que permiten realizar los análisis y así tomar las decisiones correctas. Los datos provienen de diferentes consultas (ilustración 10): sensores remotos, GPS, fotografías aéreas, archivos CAD, archivos EXCEL, entre otras fuentes. Los datos son el punto de partida de los SIG y más tarde podrán ser plasmados en los mapas para realizar una correcta interpretación geográfica.

Los datos se pueden clasificar en primarios o secundarios en función de la fuente, o utilizar las dos tomas de datos de forma combinada:

- Los primarios son los que pertenecen a la misma organización. Los datos son medidos en campo mediante dispositivos móviles o tecnología GNSS (Sistemas Satelitales de Navegación Global, en español), que luego son transferidos al *software* SIG para poder trabajar sobre ellos. A su vez, también se trabaja con datos provenientes de formularios o tablas de información geográfica que servirán para tomar decisiones y hacer análisis.
- Los datos secundarios son los que provienen de bases de datos digitales. El número de bases de datos digitales disponibles ha aumentado significativamente en los últimos años provocando que se disponga de gran información de georreferencia. La Infraestructura de Datos Espaciales de España (IDEE) o el Instituto Nacional de Estadística, entre otros, suministran estos datos para diferentes usos a las administraciones. Estas consultas de datos secundarios minimizan de forma notable la inversión y maximizan el alcance de la información.



Ilustración 10. Esquema explicativo de fuentes toma de datos.

Fuente: <http://educaciongeograficameliescalante.blogspot.com/2015/03/codigos-para-la-transmision-de.html>

4.2.2 Software

Los *software* SIG son indispensables para el correcto análisis e interpretación de la información geográfica. A continuación, se exponen los *softwares* SIG clasificados en función de si son libres y gratuitos, o si son de pago.

Entre los *software* SIG de pago se encuentran, entre otros, ArcGIS (ESRI), Geomedia (Intergraph) y Smallworld (General Electric). Por otro lado, existen los SIG gratuitos: gvSIG, QGIS, GRASS, Kosmo y Jump (24), así como sistemas de gestión de bases de datos espaciales, como PostGIS (PostgreSQL).

- ArcGIS (25) es la tecnología de referencia impulsada por el ESRI desde hace más de 40 años. ArcGIS es un sistema de pago para recopilar, administrar, analizar y distribuir información geográfica. El *software* permite publicar información para que esté accesible para cualquier persona. Este programa incluye el mismo *software*, una infraestructura *on-line*, plantillas configurables, contenido compartido por todos los usuarios de la plataforma, entre muchas otras herramientas.
- Geomedia es un *software* SIG de pago que permite trabajar con información geográfica de forma sencilla, aporta flexibilidad a la hora de editar, tomar y corregir datos espaciales. Es el único SIG que utiliza la tecnología Windows haciendo más intuitivo el trabajo (26,27).
- Smallworld también promueve el desempeño simultáneo de gran número de usuarios para conseguir grandes proyectos. La empresa centra la solución SIG para el sector energético y de telecomunicaciones. El manejo de información geoespacial se convierte en pública para todos los clientes permitiendo una potente visualización y procesamiento (28).
- GvSIG es un SIG Open Source, es decir, de licencia libre y gratuito. Permite que la gestión de los datos geográficos sea sencilla debido a su formato compatible con la mayoría de los sistemas operativos. Admite trabajar de forma local y remota con datos vectoriales y ráster (28,29).
- QGIS es un potente SIG que posee una intuitiva interfaz y que contiene multitud de herramientas y complementos para desarrollar el estudio geográfico de manera exhaustiva pero sencilla. Es un sistema libre de código abierto que posibilita la manipulación de datos geográficos vectoriales y

ráster. Es multiplataforma y compatible con los sistemas operativos más comunes (Windows, MacOS y Linux). En el apartado 4.5 se profundiza en la descripción de este SIG puesto que es el utilizado para el ejemplo de estimación de daños del incendio forestal (capítulo 5) (30).

- GRASS GIS es un SIG multifuncional para procesar todo tipo de datos espaciales. Es uno de los complementos accesibles en QGIS debido a su elevada potencia y sencillez a la hora de manejar las bases de datos (27).
- Open JUMP es un SIG libre. El *software* fue creado en 2012 y actuó de pionero para los siguientes sistemas que se fueron creando, abriendo así el abanico de herramientas y funciones para la manipulación de datos espaciales. Integra operaciones para tratar datos vectoriales, ráster, así como operaciones de geoprocesamiento y corrección de topología (31).
- PostGIS (32) es una extensión de PostgreSQL, que permite la gestión de objetos geográficos mediante consultas a una base de datos.

4.2.3 Hardware

Para darle soporte a los *software* mencionados en el apartado anterior es necesario contar con el componente *hardware*. En función de las características del ordenador se conseguirá mayor o menor rendimiento para el análisis geográfico. El *hardware* a su vez consta de una serie de componentes: Sistema Operativo (Windows, Mac, Linux), RAM, disco duro, CPU de 64 o 32 bits y tarjeta gráfica para visualizaciones 3D, entre otros.

4.2.4 Personas o recursos humanos

Los profesionales SIG son uno de los recursos humanos más demandados en los últimos años. Para analizar los datos tomados es necesario operar, desarrollar y administrar el sistema, así como llevar a cabo los planes de desarrollo para aplicarlos a los problemas del mundo real. Dentro de los perfiles SIG podemos encontrar dos perfiles fundamentales:

- Técnico/Analista SIG. Se encarga de realizar análisis geográficos y obtener resultados acorde con el proyecto que se esté llevando a cabo.
- Programador SIG. Desarrollador de partes funcionales de un SIG (de escritorio o de servidor) y/o especializados en aplicaciones web para visualización de mapas.

4.2.5 Procesos o procedimientos

Un plan bien diseñado y estructurado de procedimiento es clave para que un Sistema de Información Geográfica sea exitoso. La empresa o institución debe establecer reglas de implementación y de negocios que describan las buenas prácticas y modelos de actuación. La eficacia en el uso de estos sistemas de información es muy difícil de conseguir si no se lleva a junto a una estrategia empresarial. Para ello, es indispensable el compromiso organizacional adecuado en la contratación o reciclaje de personal (especialización). Simplemente no es suficiente un *hardware* y un *software* de calidad sin una buena contratación de personal.

4.3 Importancia de los SIG

Los Sistemas de Información Geográfica constituyen una herramienta básica para el estudio de recursos y para el análisis del impacto ambiental de la sociedad en nuestro planeta (33, 34). La importancia de los SIG se basa en la posibilidad de realizar un gran número de manipulaciones, tales como: superposición de mapas de forma precisa, transformaciones de escala, la representación gráfica, gestión de bases de datos, o el mismo mantenimiento y administración del sistema de información.

4.4 Aplicaciones

Algunos de los sectores económicos en los que se ha implantado el uso de los Sistemas de Información Geográfica son los siguientes (35, 36, 37):

- Administración y gestión. Este sector se ve beneficiado por los sistemas de información geográfico debido a su gran capacidad de análisis de datos. Es una actividad de la Administración la organización de los terrenos (urbanismo), así como poseer el control tributario de todos los inmuebles. El catastro es un censo gubernamental de los inmuebles tanto rústicos como urbanos que ayuda a la gestión geográfica y aporta información compatible con los SIG sobre estos inmuebles.
- Actividades físicas y deportivas. Las actividades deportivas que se realizan al aire libre y necesitan de sendas o carreteras públicas son organizadas en múltiples ocasiones con ayuda de los SIG ya que es importante que se optimicen los recorridos para cumplir con los requerimientos de la actividad, así como que se verifique el correcto estado de los kilómetros recorridos para evitar posibles accidentes.
- Agraria. Los SIG son imprescindibles hoy para el sector agrario. Se convierte en una herramienta indispensable para realizar un reconocimiento de una amplia zona sin ser preciso realizar una visita presencial. El sector se beneficia de las detecciones satelitales para crear orto-imágenes y poder trabajar con el SIG sobre mapas físicos prácticamente a tiempo real. Es sencillo el análisis de los datos provenientes de los estudios de los terrenos a través de estos sistemas.
- Comercio y *Marketing*. El objetivo de utilizar los SIG en el área del *marketing* es contar con la ubicación de los clientes que ya compró un producto y así optimizar las rutas de reparto. En realidad, las actividades laborales presentan en su mayoría un componente locacional y las empresas, cada vez más pequeñas, implantan estos sistemas.
- Edificación y obra civil. La necesidad de información gráfica y descriptiva para construir obras civiles implica que los SIG faciliten la gestión de redes de servicios públicas, diseño de las mismas obras civiles planes de protección Ambiental, ordenamiento territorial y urbano o análisis de riesgos.
- Electricidad y electrónica. Las telecomunicaciones necesitan la gestión de los terrenos para optimizar las interacciones entre las distintas redes. La supervisión de redes, la quita de nidos, reparación de torres se optimiza por completo con el uso de SIG. Es evidente que el conocimiento de estos sistemas por parte de los trabajadores aporta un valor para la gestión.
- Energía y agua. La gestión del agua urbana se facilita en gran cantidad con el uso de los SIG. La toma de decisiones a partir de los análisis espaciales, las redes de abastecimiento y saneamiento necesita del diseño y gestión de una red compleja que sin los SIG se haría muy complicado. De forma más específica la gestión de cuencas hidrográficas, tratamiento y estudio de datos, análisis de crecidas, tiempos de concentración y diagnosis de pendientes son ejemplos de casos de usos de los SIG en el ámbito hidrográfico.
- Seguridad y medio ambiente. Los SIG permiten desarrollar cartografía para gestionar los recursos ya sean naturales o antrópicos. La cartografía es utilizada para plantear estrategias de gestión de manera eficiente. Por otro lado, la biodiversidad de las especies, el impacto ambiental, la gestión forestal, entre otras materias, necesitan de una base de datos sólida para evaluar los cambios que puedan presentarse.

- Transporte y mantenimiento de vehículos. La gestión del transporte público es uno de los usos potenciales de los SIG ya que permite la gestión de rutas, optimización de distancias y tiempos, entre otros usos. La capacidad de gestión espacial hace que sean los sistemas más indicados para facilitar el trabajo logístico.

4.5 QGIS

QGIS (38), anteriormente Quantum GIS, es un *software* multiplataforma de licencia libre pensado como una solución a problemáticas de carácter espacial. Fue fundado por ‘*Open Source Geospatial Foundation (OSGeo)*, programado mayormente en lenguaje C, y creado por Gary Sherman en 2002, aunque su lanzamiento no tuvo lugar hasta 2009 (38). Es el SIG utilizado para el ejemplo de estimación de daños explicado en el apartado 5.3. Es un *software* fácilmente accesible utilizado en diversos entornos laborales, desde la ordenación del territorio y urbanismo, hasta la logística de transportes o al desarrollo sostenible. Un *software* de código abierto se caracteriza fundamentalmente porque el código fuente no pertenece en exclusiva a los dueños de los derechos de autor, sino que todos los usuarios colaboran en la programación del sistema actualizándolo continuamente, es decir, es un *software* de dominio público. The International Business Machines (IBM) los define como ‘‘Modelo de desarrollo descentralizado que distribuye código fuente públicamente para facilitar la colaboración abierta y la producción entre iguales, conocido como la <<forma de código abierto>>’’(39).

El SIG cuenta con multitud de funcionalidades (38) y aplicaciones que trabajan con datos en formato ráster, vectoriales y bases de datos sin ser necesario convertir estos datos a ningún formato solo compatible con el programa. Estos datos pueden ser creados, visualizados de forma sencilla, superpuestos en caso de ser preciso, así como editados de forma interna en el software.

La interfaz de usuario del sistema es gráfica para facilitar el manejo de mapas. Estos mapas, siguiendo la definición de código abierto, pueden ser publicados de manera que todos los clientes que trabajen con el SIG pueden acceder a ellos. La identidad cliente-servidor es totalmente intercambiable pudiendo incluso automatizar ciertas tareas a través de la programación en Python.

La información es procesada gracias a tres cualidades importantes del sistema de información: el escritorio (*desktop*), el sistema de coordenadas geográficas y proyecciones, y los complementos participantes.

El escritorio es la pantalla central del programa. El usuario puede tratar los datos y los mapas de forma sencilla, analizarlos o editarlos. En el escritorio se trabaja con capas (*layers*) que, en el caso de este trabajo, son añadidas al proyecto en formato *shapefile* conteniendo la información relativa a la geometría (.shp), el índice de las entidades geométricas (.shx) y la información de los atributos de los objetos (.dbf). Existen tres tipos de *shape*: punto, línea y polígono, pudiendo trabajar en las tres dimensiones (40).

El sistema de coordenadas de referencia (41). Definen la situación de un punto sobre la superficie terrestre. Se miden en grados, minutos y segundos y se definen por la longitud y la latitud, o bien por coordenadas planas proyectadas, como las coordenadas UTM. Este sistema de referencia es imprescindible para el correcto uso de QGIS. Para el manejo de datos y, sobre todo, la manipulación de los mapas digitales es necesario que todas las capas cuenten con el mismo sistema de referencia para que su superposición sea posible, así como cualquier operación geoespacial a realizar. Para cualquier comparación o análisis los objetos deben estar en el mismo sistema de referencia.

Para facilitar la gestión de la información (datos, mapas), QGIS cuenta con complementos (38) que añaden valor a las operaciones. Algunos de ellos son:

- QOSM para descargar datos OpenStreetMap.
- QDALTools para la gestión ráster: consultar, proyectar, combinar formatos ráster.
- GRASS para la gestión de datos tipo ráster y vectoriales. Puede convertir formatos, procesar imágenes satelitales, corregir la topología, analizar logística de transporte, entre otras aplicaciones.

5 CASO DE ESTUDIO: EL INCENDIO FORESTAL DE ALMONASTER LA REAL, HUELVA. ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE DAÑOS

Cuando hay una catástrofe todos remamos en la misma dirección: tratar de evitar que el daño sea mayor desde el punto de vista medioambiental, material y de vidas humanas.

Juan Manuel Moreno Bonilla, Presidente de la Junta de Andalucía, agosto de 2020.

A lo largo de este capítulo se analizará el incendio forestal ocurrido entre el 27 de agosto y el 7 de septiembre de 2020, en el municipio de Almonaster la Real, en Huelva. Así, se describirán las condiciones meteorológicas y los datos de seguimiento aportados por el Centro Operativo Regional del Plan Infoca y los recursos necesarios para sofocar el incendio, entre otros datos. A su vez, se explicará el programa utilizado para realizar la estimación de daños del incendio en cuestión (QGIS), se describirá el método seguido con las capas (geográficas) y, finalmente, se expondrán a modo de conclusión posibles aplicaciones del método.

5.1 Descripción del suceso

A las 14 horas del 27 de agosto de 2020 se notificó la existencia de un incendio forestal con término de inicio en el municipio de Almonaster la Real en Huelva. Según el Centro Operativo Regional del Plan Infoca, perteneciente a la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible de la Junta de Andalucía (42), las semanas anteriores al incendio se caracterizaron por una inestabilidad meteorológica basada en una vaguada de aire frío con viento del SO. Sin embargo, a la llegada de los días 26 y 27 de agosto se pronosticaba un ascenso de las temperaturas por influencia de la Continental Sahariana unido a un cambio a viento de levante en el Estrecho, que afectaría mayoritariamente a la parte oriental de la región. Esto provocó que se aumentara potencialmente la probabilidad de incendio, además de dificultar de su control debido al viento. El incendio en Almonaster afectó aproximadamente a 10.000 hectáreas, de las cuales el 40% correspondía a matorral y el 40,5% correspondía a pastizal y suelo. Dentro del arbolado afectado, el 50% quemado fue Eucalipto (42).

La extinción del incendio, según las noticias publicadas por la Junta de Andalucía y por EuropaPress-, requirió la actuación más de 2000 trabajadores, medios terrestres y medios aéreos. Entre los medios terrestres se movilizaron 40 máquinas pesadas y 50 vehículos pesados de extinción, y entre los aéreos se contó con más de una veintena de aeronaves que sumaron 110 actuaciones. Las unidades Médica de Incendios Forestales, de Análisis de Grandes Incendios, la Meteorológica de Huelva y la Móvil de Análisis y Planificación colaboraron juntamente con todos los efectivos, incluyendo a la Unidad Militar de Emergencia (UME) y las entidades gubernamentales. (43,44).

En el Anexo I se encuentra un mapa de delineación del área afectada por el incendio de Almonaster la Real. Se trata de un mapa de situación con fecha del 30/08/2020. El mapa, junto con la información de hectáreas

quemadas, área de interés, habitantes, etc., es ofrecido por el Servicio de gestión de Emergencias de Copernicus (45), cuyo ID de activación es EMSR457. La activación se solicitó del tipo *Rapid Mapping* puesto que se trataba de una emergencia en curso y se necesitaba toda la información satelital posible para optimizar la gestión del incendio. Para la creación del mapa y sus delineaciones, el EMS utilizó en primer lugar una primera capa: mapa del lugar previo al evento (incendio) cuya imagen fue capturada por el satélite Sentinel- 2A/B. A continuación, incorporó la capa posterior al evento en la que ya queda delineada el área quemada, así como las llamas aún activas en ese momento (mirar leyenda). Esta segunda imagen fue facilitada por los satélites SPOT 6/7, pertenecientes a Airbus. Luego, tras añadir toda la información de habitantes, construcciones afectadas y municipios, se consigue el mapa completo donde se observa fácilmente la magnitud del incendio en ese momento. En la ilustración 11 se muestra la capa utilizada para limitar el área de Huelva afectada por el incendio, extraída del productor de delineación del EMS.

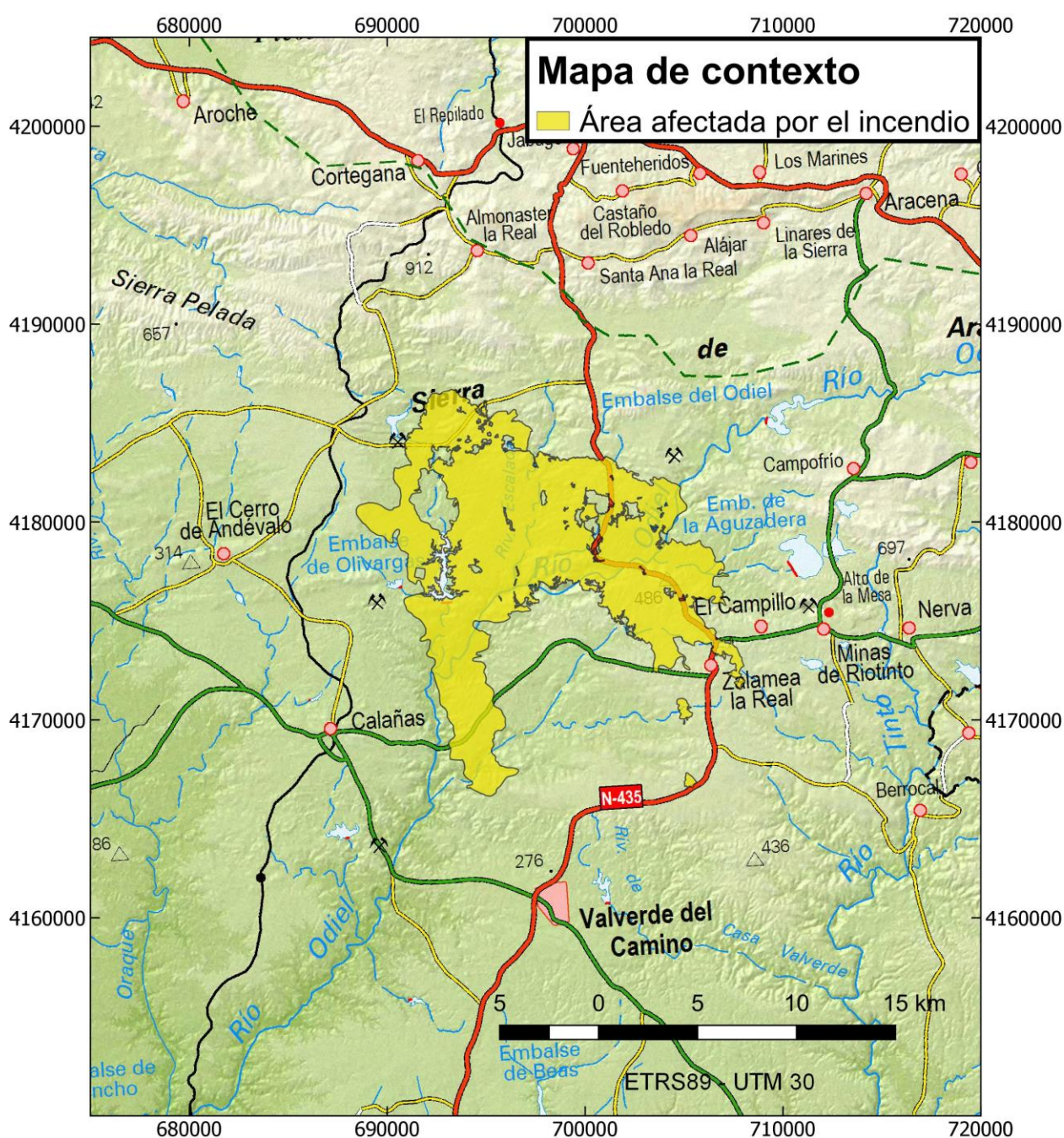


Ilustración 11. Mapa del incendio ocurrido en Almonaster la Real sobre el fondo de WSM del mapa ráster del IGN.

Fuentes: https://emergency.copernicus.eu/mapping/ems-product-component/EMSR457_AOI01_DEL_MONIT01_r1_RTP01/2 ; <https://www.ign.es/wms-inspire/mapa-raster>

5.2 Datos de partida

La activación “EMSR457: Incendio forestal en Almonaster La Real, España” fue dada de alta el 28/08/2020 a las 13:24 horas, veinticuatro horas después del inicio del incendio, tratándose de Cartografía Rápida, los productos fueron en total cuatro: un producto de primera estimación, dos productos de delineación y un último de calificación (ver Anexos al final del documento, donde se encuentran los productos de la activación obtenidos del Servicio de Gestión de Emergencias de Copernicus) (45).

5.2.1 Datos de la detección satelital

Producto de primera estimación. (ANEXO)

Emitido el 28/08/2020. En este mapa de estimación (46) se observa una primera imagen satelital de la zona de interés y dentro de ella, la zona del incendio activo en la fecha de emisión, con una precisión topográfica de, al menos, 300 metros. Las imágenes de referencia para la creación del producto se obtuvieron del satélite Sentinel-2A/B (*Copernicus Programme*, UE) y la imagen posterior a la ocurrencia del evento se obtuvo del satélite Sentinel-3A/B, también del Programa Copernicus de la UE. Esta imagen ‘*post-event*’ posee una banda infrarroja aplicada para poder observar con mejor calidad la zona afectada por el incendio, evitando así que sucesos meteorológicos como la neblina empeoren la calidad del mapa. Se puede observar en el primer epígrafe del Anexo el producto (mapa) descrito en este mismo apartado. La ilustración 11 es una vista en miniatura del mapa en cuestión.

Productos de delineación. (ANEXO)

La activación del incendio de Almonaster la Real, mediante la Cartografía Rápida, proporciona dos productos de delineación. El primero (47), fechado el 29/08/2020, posee mucha más información que el mapa preliminar. Este mapa posee una precisión geométrica de 2,5 metros y a diferencia del primer producto, las imágenes previa y posterior al incendio fueron tomadas del satélite SPOT 6/7, perteneciente a la empresa Airbus DS (2020). Así, se muestra más información de interés relativa al propio incendio como pueden ser los focos activos en el momento, las zonas dedicadas a la minería o extracción de material (importante debido a la posibilidad de extracción de materiales inflamables, así como el área quemada hasta esa fecha. Se especifica el número de habitantes de la zona a los que le afectó el incendio, los kilómetros de carreteras cortadas y las hectáreas de los diferentes terrenos quemados (tierra cultivable, pasto, bosques, zonas agrícolas, entre otros). Este producto se muestra en el segundo epígrafe del Anexo adjunto. La ilustración 12 es una vista en miniatura del mapa en cuestión. Anexo.

El segundo producto de delineación (48) está datado a 30/08/2020, explicado ya en el apartado 5.1 a modo de introducción de la activación en estudio (EMSR457). La principal diferencia que puede observarse respecto al primer mapa de delineación es el aumento de las hectáreas quemadas. Mientras que el 28/08/2020 se habían quemado 8593,5 ha, el 30/08/2020 ya eran afectadas 14519,8 ha. El área de interés en el primero era mucho menor puesto que en el segundo se incluye toda la zona de Minas de Riotinto debido a su peligrosidad. Aumentan los focos activos de 5 a 7 en los dos días, de lo que se extrae una dificultad en el control del incendio grave. La ilustración 13 es una visión en miniatura del mapa en cuestión.

Producto de calificación. (ANEXO)

El 31/08/2020 se emitió el mapa de calificación. En esta fecha ya se habían quemado 16284,6 ha de terreno y 30653 fueron los habitantes afectados por el incendio. Este producto (49) informa del daño que ha provocado el incendio. Clasifica el terreno quemado en tres colores en función de la gravedad del daño: destruido/dañado/posiblemente dañado; y las carreteras y vías de tren en: posiblemente dañadas/no existe daño

visible. Las imágenes previas y posteriores al evento fueron tomadas, al igual que las imágenes de delineación, por el satélite SPOT 6/7 de Airbus. En este mapa ya no se localizan los focos activos del incendio. La ilustración 14 es una vista en miniatura del mapa en cuestión.

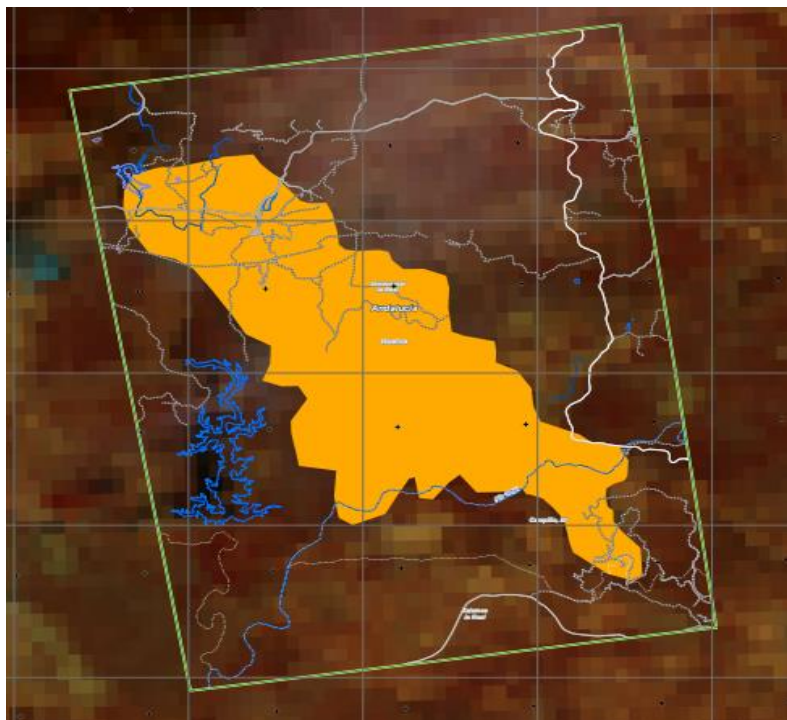


Ilustración 12. Vis en miniatura del mapa de primera estimación.

Fuente:

https://emergency.copernicus.eu/mapping/system/files/components/EMSR457_AOI01_FEP_PRODUCT_r1_RTP01_v1.pdf

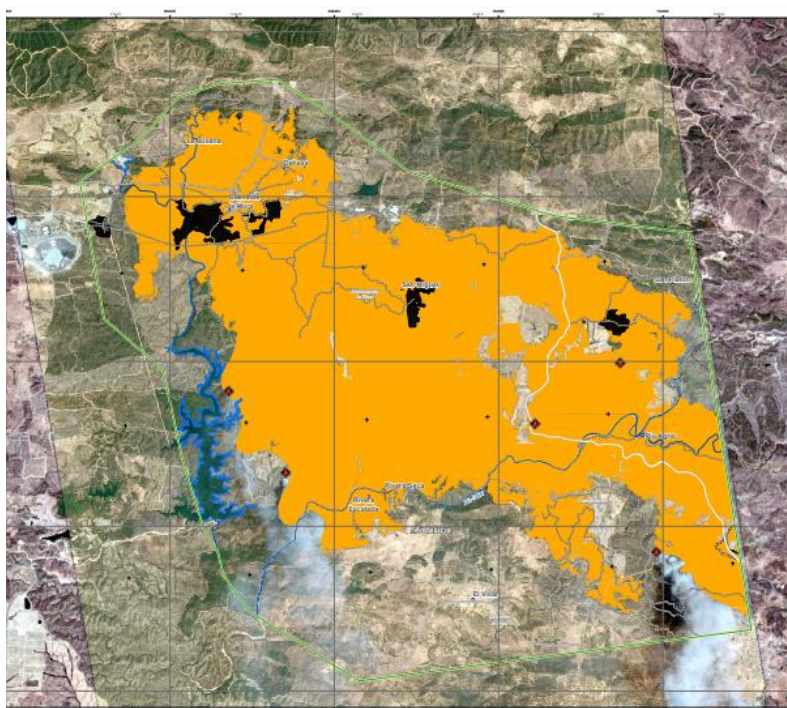


Ilustración 13. Vista en miniatura del primer mapa de delineación.

Fuente: https://emergency.copernicus.eu/mapping/system/files/components/EMSR457_AOI01_DEL_PRODUCT_r1_RTP01_v2.pdf

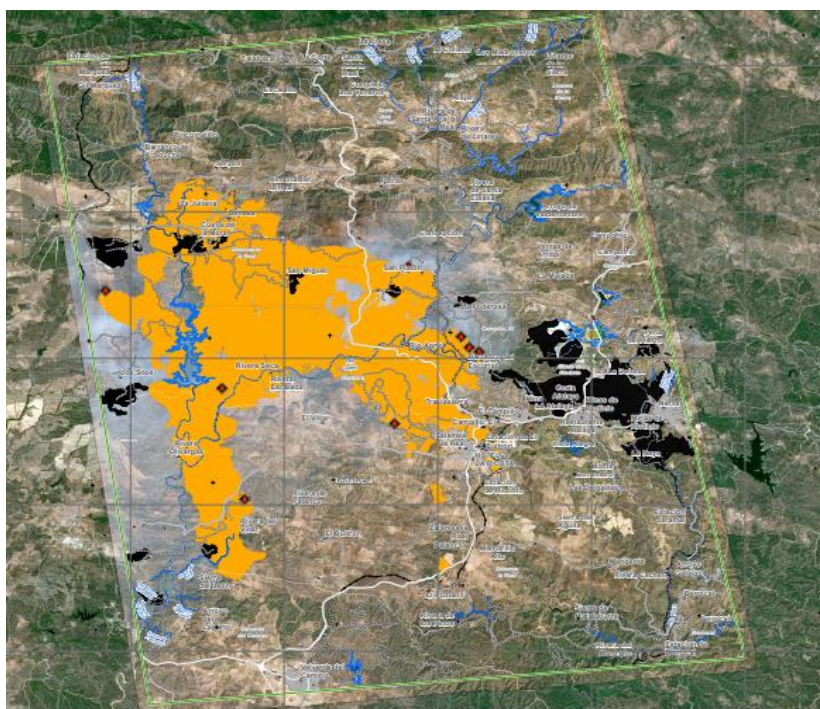


Ilustración 14. Vista en miniatura del segundo mapa de delineación.

Fuente:

https://emergency.copernicus.eu/mapping/system/files/components/EMSR457_AOI01_DEL_MONIT01_r1_RTP01_v2.pdf

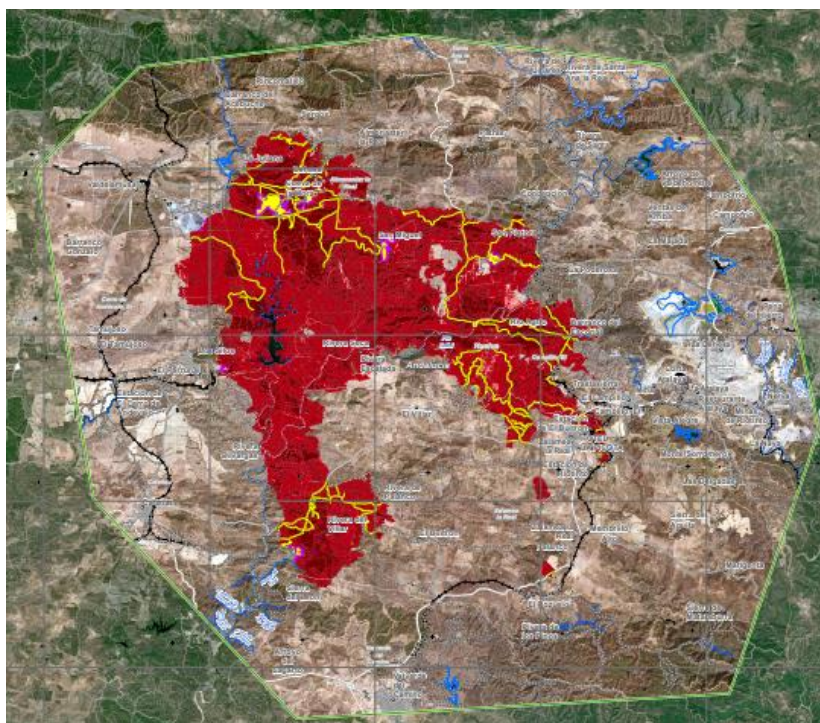


Ilustración 15. Vista en miniatura del mapa de calificación.

Fuente:

https://emergency.copernicus.eu/mapping/system/files/components/EMSR457_AOI01_GRA_PRODUCT_r1_RTP01_v2.pdf

5.2.2 Datos extraídos del Catastro

Otra herramienta utilizada para la realización del ejemplo sobre estimación de daños del incendio forestal es la Sede Electrónica del Catastro de la Dirección General del Catastro. “El Catastro Inmobiliario es un registro administrativo dependiente del Ministerio de Hacienda en el que se describen los bienes inmuebles rústicos, urbanos y de características especiales. Está regulado por el Texto Refundido de la Ley del Catastro Inmobiliario, la inscripción en el mismo es obligatoria y gratuita, características que lo diferencian del Registro de la Propiedad”. (50). Fiscalmente tiene uso tributario y es la razón de ser de este censo, sin embargo, actualmente es utilizado para realizar estudios topográficos.

La Sede Electrónica del Catastro permite a todo usuario acceder a la información que no esté protegida, tanto a la cartografía catastral, al valor catastral, así como a cualquier dato que no identifique al dueño del inmueble. El catastro proporciona una amplia lista de productos a los que acceder, en la tabla 2, se encuentra el resumen de estos productos y los requisitos para su obtención. La información protegida puede ser obtenida por entidades

Los productos de cartografía vectorial y de información alfanumérica precisan para su descarga la identificación del usuario mediante la firma electrónica (también necesario para acceder a cualquier información que conlleve datos personales) y la aceptación de cláusulas generales y técnicas para la licencia de descarga de productos catastrales (51).

Para la identificación oficial de los inmuebles se necesita de la referencia catastral, que será única para cada uno. En esta referencia queda descrito la provincia, municipio, sector, finca o parcela, hoja de plano, identificación del inmueble, polígono, parcela, identificación de inmueble y caracteres de control (52).

| PRODUCTOS | CANALES DE ACCESO | REQUISITOS DE ACCESO |
|---|--|---|
| CERTIFICACIONES DESCRIPTIVAS Y GRÁFICAS | A través de la Sede Electrónica del Catastro | Producto gratuito Acceso con certificado |
| | En las Gerencias del Catastro | Modelo de solicitud Tasa de acreditación catastral |
| | En los Puntos de Información Catastral | Listado de PIC |
| CERTIFICACIONES LITERALES | A través de la Sede Electrónica del Catastro | Producto gratuito Acceso con certificado |
| | En las Gerencias del Catastro | Modelo de solicitud Tasa de acreditación catastral |
| | En los Puntos de Información Catastral | Ubicación de los PIC |
| INFORME DE VALIDACIÓN GRÁFICA | A través de la Sede Electrónica del Catastro | Producto gratuito Acceso con certificado |

| | | |
|---|--|---|
| ORTOFOTO EN PAPEL | Las Gerencias del Catastro | Modelo de solicitud Tasa de acreditación catastral |
| ORTOFOTO DIGITAL | Las Gerencias del Catastro | Modelo de solicitud Tasa de acreditación catastral |
| CARTOGRAFÍA CATASTRAL URBANA EN PAPEL | Las Gerencias del Catastro | Modelo de solicitud Tasa de acreditación catastral |
| CARTOGRAFÍA CATASTRAL RÚSTICA EN PAPEL | Las Gerencias del Catastro. | Modelo de solicitud Tasa de acreditación catastral |
| CARTOGRAFÍA CATASTRAL URBANA DIGITAL | A través de la Sede Electrónica del Catastro. AYUDA DE DESCARGA | Acceso con certificado Producto gratuito, es necesaria licencia |
| | Las Gerencias del Catastro. | Modelo de solicitud Tasa de acreditación catastral |
| CARTOGRAFÍA CATASTRAL RÚSTICA DIGITAL | A través de la Sede Electrónica del Catastro AYUDA DE DESCARGA | Acceso con certificado Producto gratuito, es necesaria licencia |
| | Las Gerencias del Catastro | Modelo de solicitud Tasa de acreditación catastral |
| INFORMACIÓN ALFANUMÉRICA | A través de la Sede Electrónica del Catastro AYUDA DE DESCARGA | Acceso con certificado Producto gratuito, es necesaria licencia |
| | Las Gerencias del Catastro. | Modelo de solicitud de información alfanumérica Tasa de acreditación catastral |
| REDES TOPO-GEODÉSICAS CATASTRALES | A través de la Sede Electrónica del Catastro AYUDA DE DESCARGA | Acceso con certificado Producto gratuito, es necesaria licencia |
| CONSULTA DE CARTOGRAFÍA HISTÓRICA CATASTRAL | Las Gerencias del Catastro. Los Archivos Históricos Provinciales | Modelo de solicitud Tasa de acreditación catastral |

Tabla 2. Ilustración del catálogo de productos ofrecidos por la Sede Electrónica del Catastro.

Fuente: <http://www.catastro.minhap.gob.es/esp/productos.asp>

Las capas conseguidas a través de la web del Catastro hacen referencia al municipio de Almonaster la Real, en Huelva, mostrado cartográficamente en la ilustración 17 y son descargadas en cartografía vectorial, es decir, en formato *shapefile*, para luego poder hacer uso de ellas en el programa QGIS. Es necesaria una identificación personal para acceder a esta información proporcionada por el Gobierno de España. A continuación, existen cuatro opciones de descargas: rústica sin historia/ rústica con historia/ urbana sin historia/ urbana con historia. Para el estudio se han descargado únicamente la rústica y la urbana sin historia. Se ofrece un listado exhaustivo de capas disponibles para su descarga (ilustración 16). En función de la necesidad del ejemplo que se trata en este apartado, se han descargado las capas relativas a:

- Parcelas catastrales.
- Subparcelas urbanas que representan los volúmenes edificadas.
- Subparcelas de cultivo.
- Código de cultivo o aprovechamiento de cada subparcela de cultivo.

| | |
|--------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> | Puntos de altimetría con cota y puntos de las redes geodésicas y topográficas (22/01/2021; 0.81 KB) |
| <input type="checkbox"/> | Descripción de los códigos de vías de comunicación e Hidrografía (22/01/2021; 2.40 KB) |
| <input type="checkbox"/> | Subparcelas urbanas que representan los volúmenes edificadas dentro de una parcela (22/01/2021; 169.57 KB) |
| <input type="checkbox"/> | Ejes de elementos lineales (calles, carreteras) (22/01/2021; 2.45 KB) |
| <input type="checkbox"/> | Elementos cartográficos lineales (22/01/2021; 581.00 KB) |
| <input type="checkbox"/> | Elementos cartográficos puntuales (22/01/2021; 5.46 KB) |
| <input type="checkbox"/> | Rótulos del mapa (22/01/2021; 55.71 KB) |
| <input type="checkbox"/> | Hojas de división de la cartografía urbana (22/01/2021; 0.76 KB) |
| <input type="checkbox"/> | Límites administrativos (de municipio, de suelo de naturaleza urbana, etc) (22/01/2021; 113.11 KB) |
| <input type="checkbox"/> | Identificación de cada una de las zonas con cartografía diferente (22/01/2021; 1.09 KB) |
| <input type="checkbox"/> | Agrupaciones de parcelas (manzanas de urbana y polígonos de rústica) (22/01/2021; 161.27 KB) |
| <input type="checkbox"/> | Parcelas catastrales (22/01/2021; 2061.84 KB) |
| <input type="checkbox"/> | Descripción de los códigos de cultivo (22/01/2021; 2.63 KB) |
| <input type="checkbox"/> | Código de cultivo o aprovechamiento de cada subparcela de cultivo (22/01/2021; 84.22 KB) |
| <input type="checkbox"/> | Subparcelas de cultivo (zonas de igual cultivo o aprovechamiento dentro de una parcela) (22/01/2021; 2823.33 KB) |

Ilustración 16. Listado de capas disponibles para descargar en la Sede Electrónica del Catastro.

Fuente: <https://www.sedecatastro.gob.es/OVCInicio.aspx>

Una vez están todas las capas descargadas correctamente, da comienzo el uso del Programa QGIS, el Sistema de Información Geográfica. Es importante hacer coincidir el sistema de referencia de todas las capas, es decir, el sistema de referencia de la capa de Almonaster la Real (EMS Copernicus) debe coincidir con el sistema de referencia que Catastro tiene para el mismo municipio y así poder realizar las operaciones de geoproceto. Por tanto, es necesario cambiar el sistema de referencia de EPSG:4326 (coordenadas geográficas WGS84) a EPSG:25829 (coordenadas UTM, huso 30, elipsoide GRS80) creando una capa nueva.

El fin del estudio es estimar el daño producido por el incendio. Para este ejemplo, se ha delimitado el área de estudio únicamente al municipio de Almonaster la Real, aunque no fue el único afectado.

5.2.3 Datos para la estimación económica

Son tres las entidades a valorar económicamente: las subparcelas rústicas clasificadas por tipo de cultivo, las parcelas urbanas sin edificar y las construcciones urbanas. Todas las entidades limitadas al área afectada por el incendio forestal en el municipio de Almonaster la Real en Huelva.

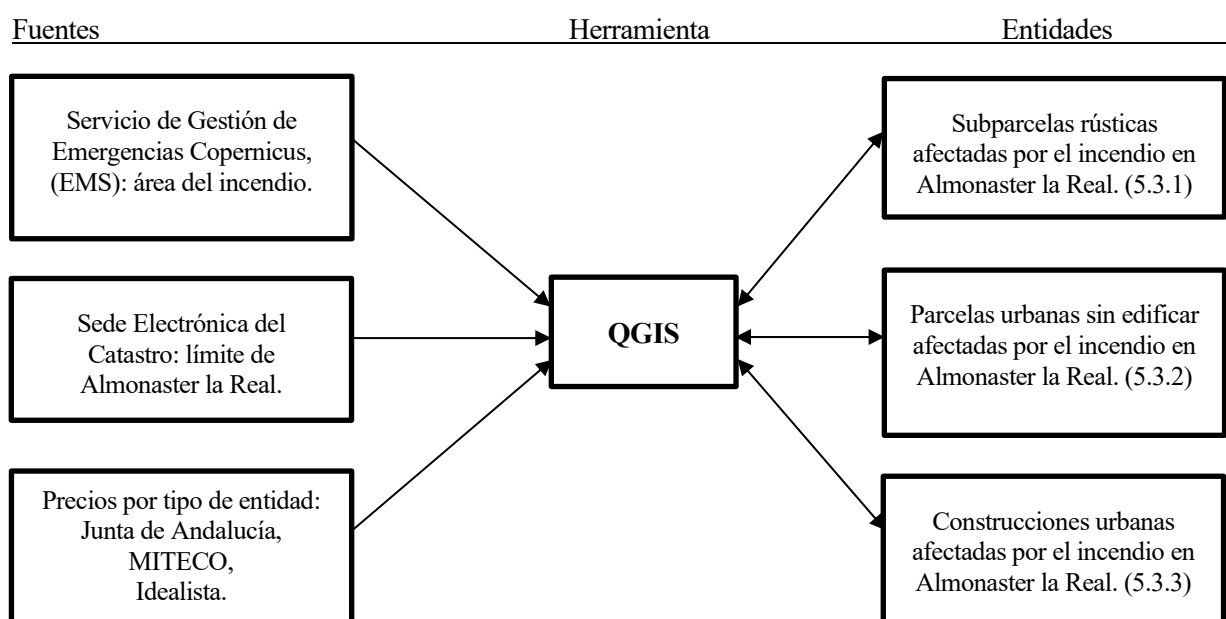
Para conocer el valor de las subparcelas rústicas se han de valorar económicamente cada tipo de cultivo que existe en el área de estudio. El valor por unidad de superficie de cada tipo de cultivo se ha obtenido a partir de los datos ofrecidos por la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca, y Desarrollo Sostenible de la Junta de Andalucía (53) y del Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico (MITECO) para las masas forestales (56).

En segundo y último lugar, tanto el valor de las parcelas urbanas sin edificar como de las construcciones urbanas se ha obtenido del portal web inmobiliario Idealista (54 y 55).

5.3 Metodología seguida para la estimación económica de daños

Para estimar el daño es necesario conocer qué área dañada por el incendio se corresponde con el municipio considerado. Luego, se debe conocer el valor económico de las hectáreas (o metros cuadrados) afectadas en Almonaster por el incendio y fijar un parámetro de estudio, como puede ser el uso o aprovechamiento de los cultivos. Así, multiplicando el número de hectáreas afectadas por el valor económico (€)/hectárea se halla qué pérdidas económicas provocó el accidente forestal. Se ha dividido el estudio en el análisis de las pérdidas rústicas, de pérdidas urbanas (parcelas urbanas sin construcciones) y construcciones urbanas.

El método utilizado para la estimación de los daños del incendio necesita de la descarga e instalación de un Sistema de Información Geográfica, en este caso QGIS. Una vez instalado el programa es necesario acceder a las capas vectoriales que representen el caso del incendio. A continuación, se muestra de forma esquemática las fuentes de información para el desarrollo del método y los tres tipos de entidades de las que se estimarán las pérdidas económicas.



Las capas utilizadas en este ejemplo de estimación se han conseguido por dos vías diferentes. En primer lugar, se utilizan las capas expuestas en el apartado 5.2.1 obtenidas del Servicio de Gestión de Emergencias del Programa Copernicus (45). El Programa ya estudió el suceso en materia de emergencia mientras ocurría a través de una activación y, por tanto, las imágenes satelitales tomadas están accesibles públicamente. En particular, se ha tomado la capa relativa al ‘Evento Observado (*Observed Event*)’ del producto de delineación. Por otro lado, la segunda vía para la obtención de las capas con las que realizar el estudio es la Sede Electrónica del Catastro (50).

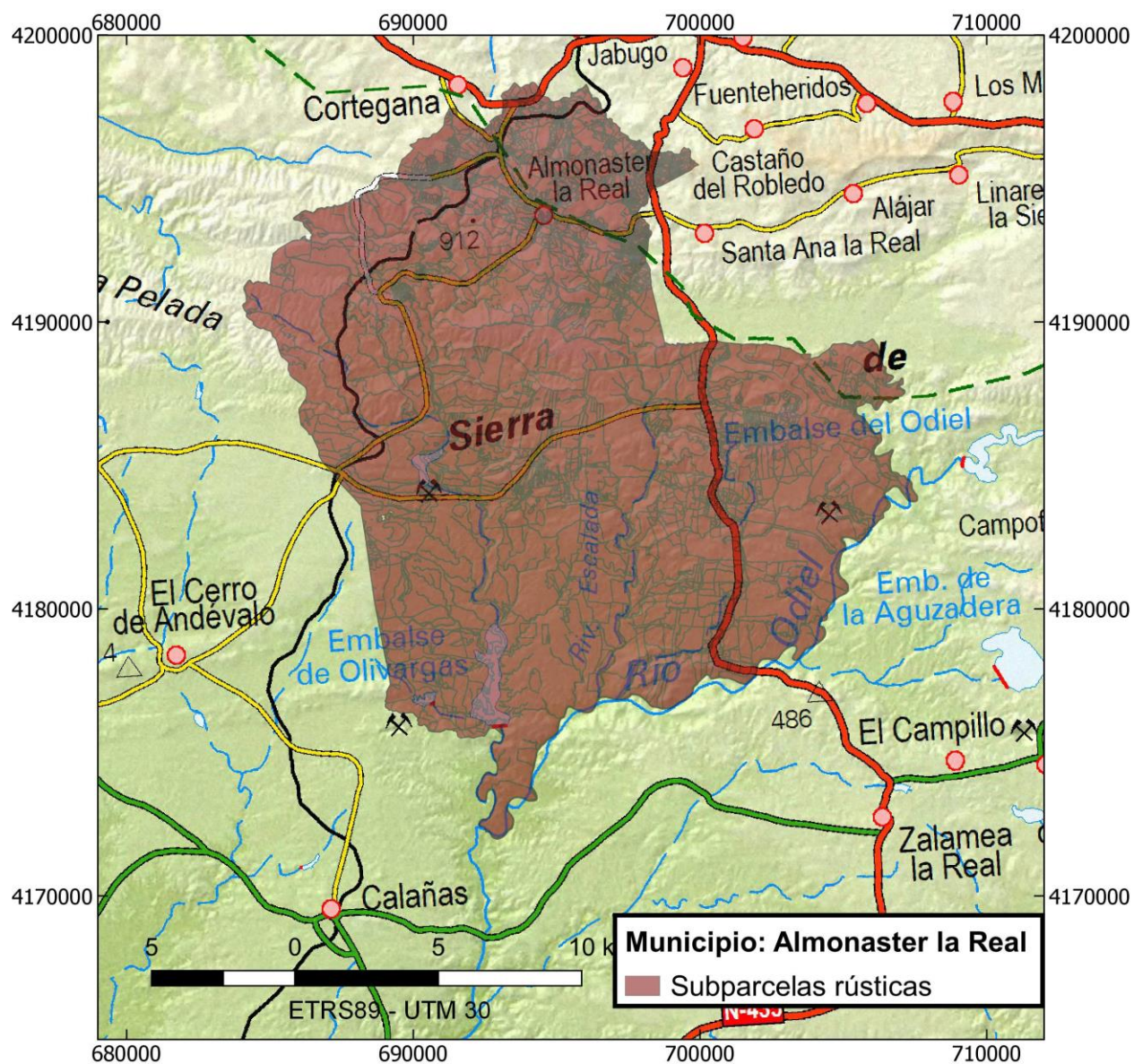
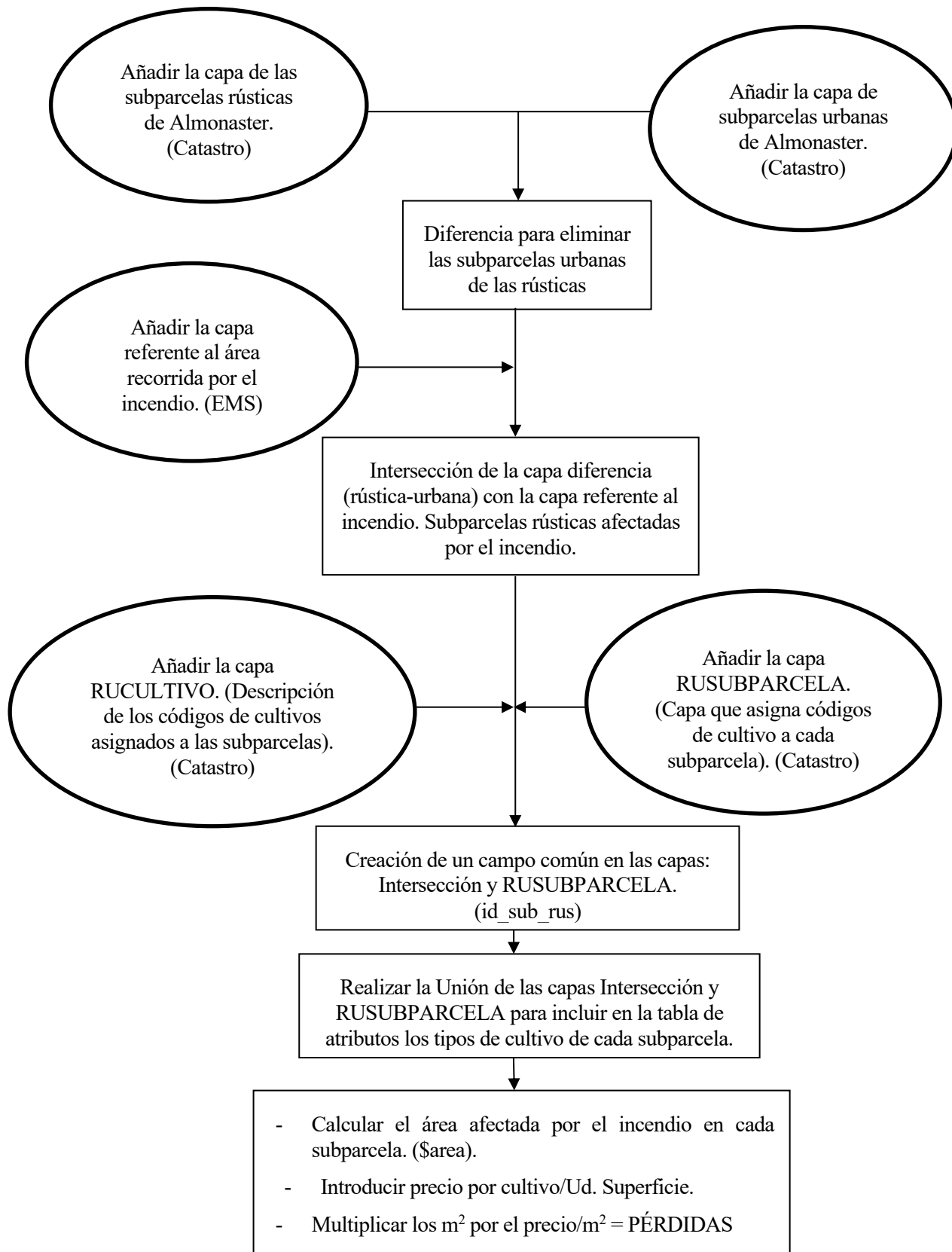


Ilustración 17. Mapa del municipio de Almonaster la Real sobre el fondo de WSM del mapa ráster del IGN.

Fuentes: <https://www.ign.es/wms-inspire/mapa-raster> ; <https://www.sedecatastro.gob.es/OVCInicio.aspx>

5.3.1 Estimación de las pérdidas rústicas.



El primer paso para realizar el estudio rústico es añadir las capas de la subparcela rústica y la subparcela urbana ya que, por elección del Catastro, la capa de urbana engloba también a la capa rústica. Se considera el nivel de subparcelas y no el nivel de parcelas ya que es en el primero donde vienen definidos los tipos de cultivos. A su vez, es necesario añadir la capa referente al área total afectada por el incendio (EMS, Copernicus). Se debe añadir también las capas RUCULTIVO Y SUSUBPARCELA obtenidas de Catastro, para definir qué tipo de cultivo tiene cada parcela. Se muestra en la ilustración 18 el evento estudiado: área del municipio de Almonaster en superposición con el área que recorrió el incendio.

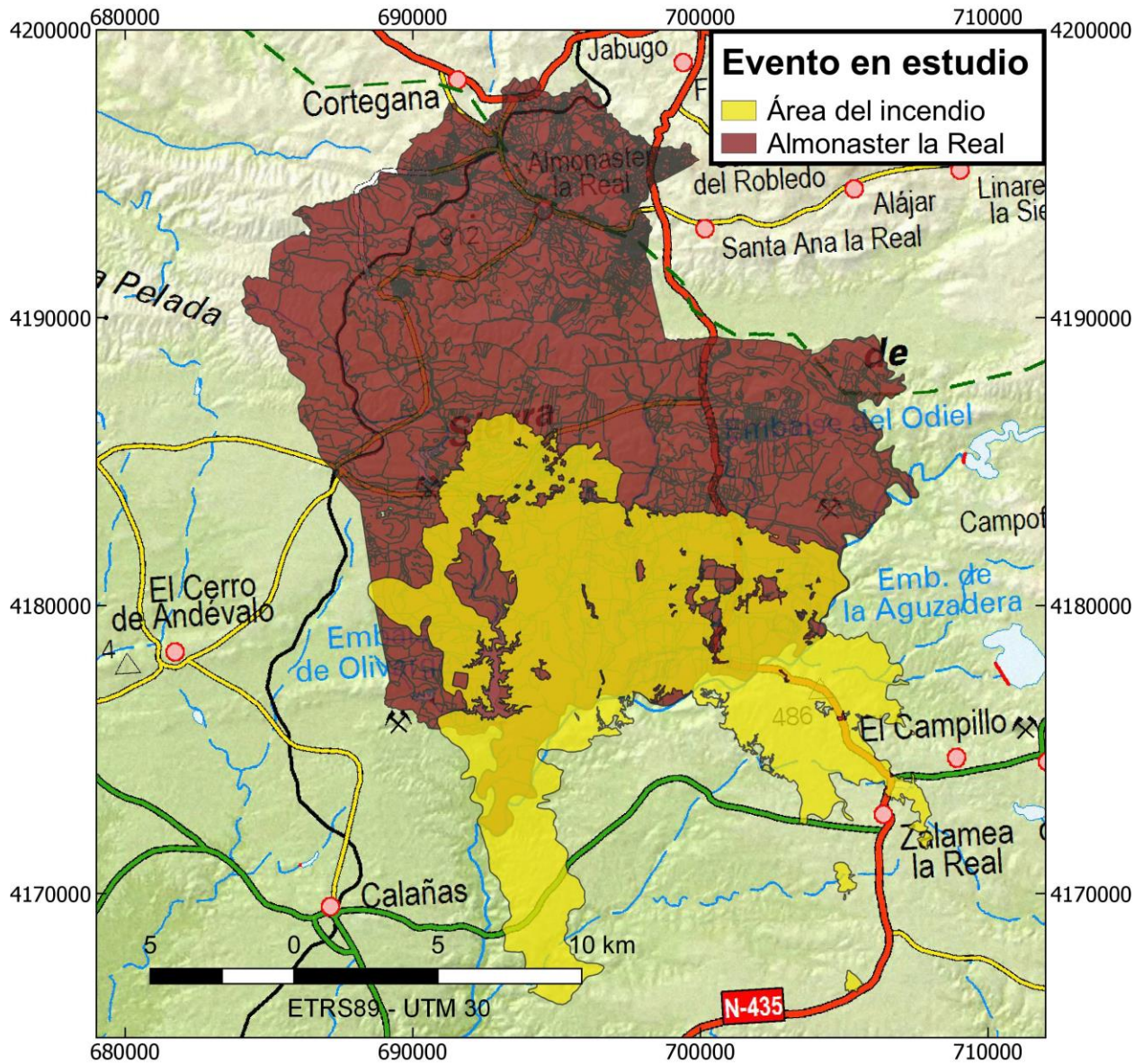


Ilustración 18. Mapa de superposición del área de Almonaster la Real y el área recorrida por el incendio sobre el fondo de WSM del mapa ráster del IGN.

Fuente: <https://www.ign.es/wms-inspire/mapa-raster> ; <https://www.sedecatastro.gob.es/OVCInicio.aspx> ; https://emergency.copernicus.eu/mapping/ems-product-component/EMSR457_AOI01_DEL_MONIT01_r1_RTP01/2

Para discriminar la zona urbana de la zona rústica se utiliza una herramienta de geoprocso llamada Diferencia, creando así una nueva capa denominada 0_SuRus_SuUrb.

El siguiente paso es realizar la intersección entre la capa que tomamos como referencia (diferencia entre subparcelas rústica y urbana) con la capa de la zona afectada por el incendio, consiguiendo así la capa

2_InterSuRus, que describe las subparcelas rústicas afectadas por el incendio. En la ilustración 20 se muestra el mapa del área de Almonaster afectada por el incendio (intersección) con las subparcelas categorizadas por tipos de cultivos y por colores.

Debido a que el último objetivo es estimar las pérdidas causadas por el incendio, es preciso saber qué tipo de cultivo existe en cada subparcela puesto que cada uno tendrá un precio. Para conseguir lo explicado, se han de seguir una serie de pautas.

- Añadir las capas RUCULTIVO y RUSUBPARCELA obtenidas de Catastro. En RUBUSPARCELA se muestra cada parcela con su código de cultivo correspondiente. En RUCULTIVO viene la descripción de cada código de cultivo. Son capas sin geometría que presentan una tabla de atributos en las que define qué código de cultivo posee cada subparcela. Para conseguir estos campos en la tabla de atributos de la capa intersección, es necesario realizar la unión.
- Crear un campo nuevo con la Calculadora de Campos en la tabla de atributos de la capa intersección 2_InterSuRus denominada ‘area_afec’, definiendo los metros cuadrados afectados por el incendio en cada subparcela.
- Crear un campo nuevo en la tabla de atributos de las capas RUSUBPARCELA y la capa intersección 2_InterSuRus llamado ‘id_sub_rus’ en el que se concatenan la referencia catastral de la subparcela con el código de cultivo de cada una.
- Realizar la unión de la capa intersección con la capa RUCULTIVO para actualizar la tabla de atributos de las subparcelas quemadas, definiendo así el tipo de cultivo que existe en cada subparcela. Se crea la capa ‘3_RuSub_cul’.

La tabla de atributos resultante de la capa 3_InterSuRus se muestra en la ilustración 19. La finalidad de los pasos descritos anteriormente es incluir toda la información en una misma tabla de atributos compacta para, más adelante, poder calcular las pérdidas económicas totales.

3_RuSub_cul :: Objetos totales: 1932, Filtrados: 1932, Seleccionados: 0

| | REFCAT | event_type | obj_desc | det_method | notation | dmg_src_id | area_l | area_afec | id_sub_rus | _CC | cu_DENOMINA |
|----|--------------------|------------|---------------------|--------------------|------------|------------|------------------|-----------|------------------|-----|--------------|
| 1 | X00 21004A00709010 | 8-Wildfire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 20634,0 | 21004A0070901... | I- | Improductivo |
| 2 | X00 21004A00800453 | 8-Wildfire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 5674,3 | 21004A0080045... | I- | Improductivo |
| 3 | X00 21004A00800453 | 8-Wildfire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 7002,5 | 21004A0080045... | I- | Improductivo |
| 4 | X00 21004A00800453 | 8-Wildfire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 71,2 | 21004A0080045... | I- | Improductivo |
| 5 | X00 21004A00700148 | 8-Wildfire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 141336,5 | 21004A0070014... | MT | Matorral |
| 6 | X00 21004A00700148 | 8-Wildfire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 81599,7 | 21004A0070014... | FE | Encinar |
| 7 | X00 21004A00600192 | 8-Wildfire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 6459,0 | 21004A0060019... | I- | Improductivo |
| 8 | X00 21004A00600194 | 8-Wildfire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 119,8 | 21004A0060019... | I- | Improductivo |
| 9 | X00 21004A00600196 | 8-Wildfire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 1805,9 | 21004A0060019... | I- | Improductivo |
| 10 | X00 21004A00600197 | 8-Wildfire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 1308,6 | 21004A0060019... | I- | Improductivo |
| 11 | X00 21004A00600197 | 8-Wildfire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 49,8 | 21004A0060019... | I- | Improductivo |
| 12 | X00 21004A00600197 | 8-Wildfire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 991,0 | 21004A0060019... | I- | Improductivo |
| 13 | X00 21004A00600197 | 8-Wildfire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 132,6 | 21004A0060019... | I- | Improductivo |
| 14 | X00 21004A00709010 | 8-Wildfire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 7055,0 | 21004A0070901... | I- | Improductivo |
| 15 | X00 21004A00709010 | 8-Wildfire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 3,2 | 21004A0070901... | I- | Improductivo |
| 16 | X00 21004A00600194 | 8-Wildfire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 2,1 | 21004A0060019... | I- | Improductivo |
| 17 | X00 21004A00600194 | 8-Wildfire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 12,7 | 21004A0060019... | I- | Improductivo |
| 18 | X00 21004A00600194 | 8-Wildfire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 6182,0 | 21004A0060019... | I- | Improductivo |
| 19 | X00 21004A00600194 | 8-Wildfire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 155,3 | 21004A0060019... | I- | Improductivo |
| 20 | X00 21004A00700069 | 8-Wildfire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 59,1 | 21004A0070006... | EU | Eucaliptus |

Ilustración 19. Tabla de atributos resultante de la capa 3_InterSuRus.

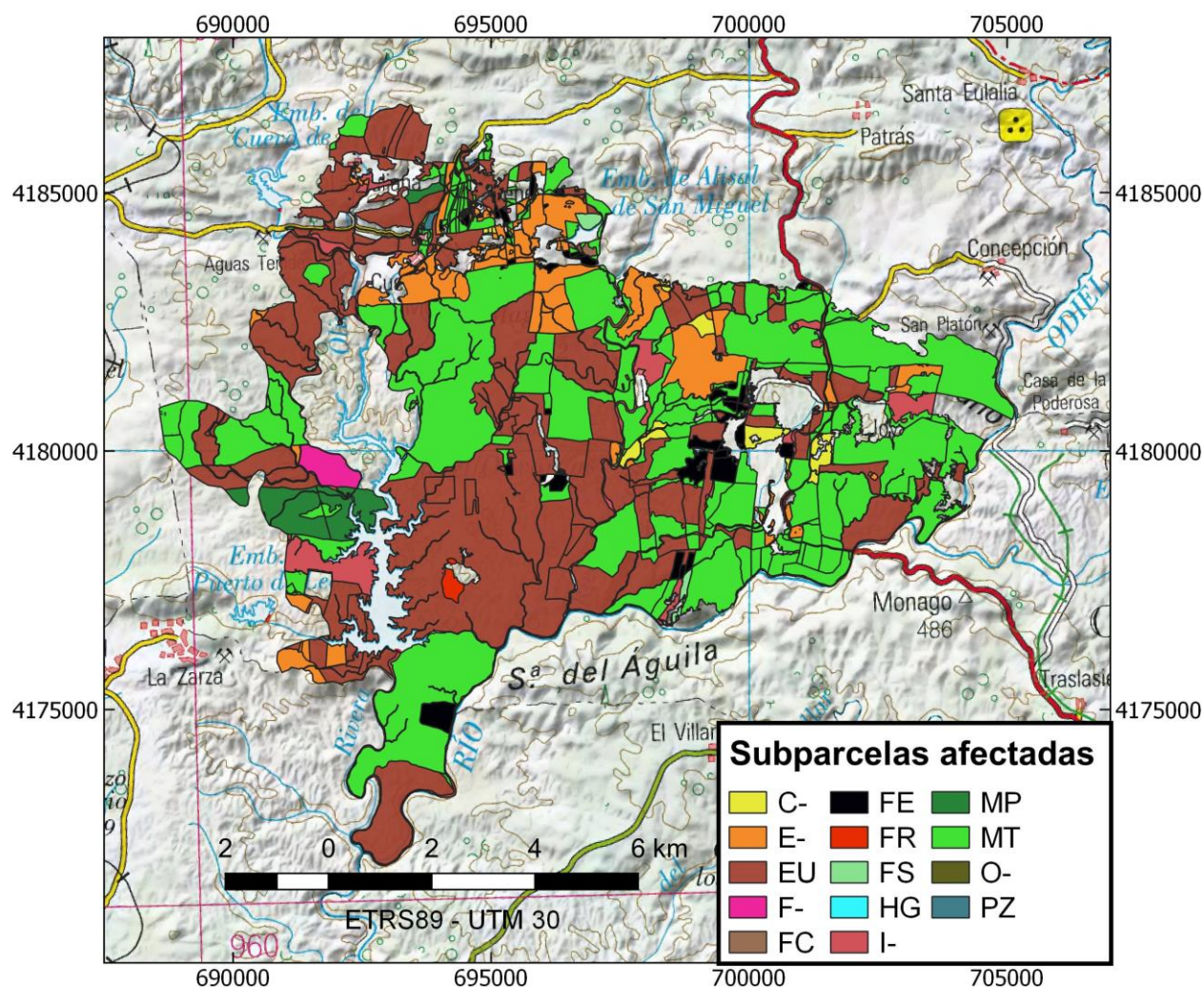


Ilustración 20. Mapa de las subparcelas rústicas, clasificadas por tipos de cultivo, afectadas por el incendio sobre sobre el fondo de WSM del mapa ráster del IGN.

Fuente: <https://www.ign.es/wms-inspire/mapa-raster> ; <https://www.sedecatastro.gob.es/OVCInicio.aspx> ; https://emergency.copernicus.eu/mapping/ems-product-component/EMSR457_AOI01_DEL_MONIT01_r1_RTP01/2

Los cultivos de cada subparcela son conocidos y recogidos en la tabla de atributos tanto por el código de cultivo _CC como por la denominación del tipo (ilustración 19). En la tabla 4 se resumen los tipos de cultivo que existen en el área afectada y su correspondiente código.

| CÓDIGO CULTIVO | Denominación cultivo |
|----------------|--|
| PZ | Pozos,Balsas,Charcas,Sondeos |
| O- | Olivos secano |
| MT | Matorral |
| MP | Pinar pinea o de fruto |
| I- | Improductivo |
| HG | Hidrografía natural (río,laguna,arroyo.) |
| FS | Alcornocal |
| FR | Frutales regadío |
| FE | Encinar |

| | |
|----|-----------------------|
| FC | Castañar |
| F- | Frutales seco |
| EU | Eucalipto |
| E- | Pastos |
| C- | Labor o Labradío seco |

Tabla 3. Resumen de todos los cultivos encontrados en el área afectada por el incendio.

Una vez es conocido el cultivo que posee cada subparcela, el siguiente paso es asignarle un precio. Para ello, se extrae la tabla de atributos a Excel y se clasifican los códigos ya que, evidentemente, se repiten a lo largo de las subparcelas.

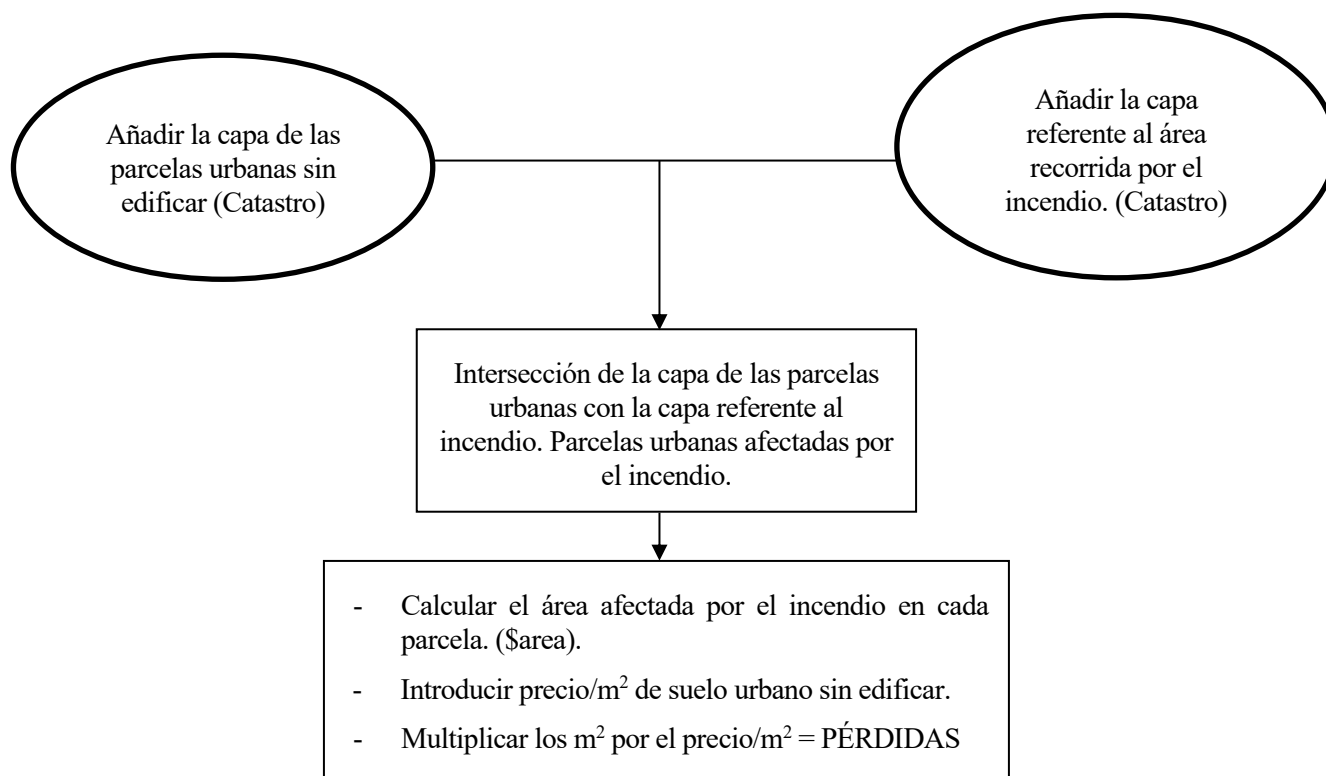
El precio por unidad de superficie de cada tipo de cultivo (tabla 5) se ha obtenido a partir de los datos ofrecidos por la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca, y Desarrollo Sostenible de la Junta de Andalucía (53), así como por la Vicepresidencia Cuarta del Gobierno (56). Los criterios de selección de los precios son principalmente estadísticos (medios y ponderados) y basados en el uso y aprovechamiento, así como los precios de venta de las tierras. Las especificaciones forestales atendidas son, entre otras, las especies arbóreas y arbustivas con su respectivo crecimiento y evolución.

| CÓDIGO CULTIVO | Denominación cultivo | €/m ² |
|----------------|--|------------------|
| PZ | Pozos,Balsas,Charcas,Sondeos | 0 |
| O- | Olivos seco | 2,4 |
| MT | Matorral | 0,18 |
| MP | Pinar pinea o de fruto | 0,73 |
| I- | Improductivo | 0 |
| HG | Hidrografía natural (río,laguna,arroyo.) | 0 |
| FS | Alcornocal | 0,73 |
| FR | Frutales regadío | 11 |
| FE | Encinar | 0,73 |
| FC | Castañar | 0,73 |
| F- | Frutales seco | 1,4 |
| EU | Eucalipto | 0,73 |
| E- | Pastos | 0,53 |
| C- | Labor o Labradío seco | 1,03 |

Tabla 4. Precio por unidad de superficie de cada tipo de cultivo.

Para importar el libro de Excel con los respectivos precios de cada tipo de cultivo es imprescindible guardarlo con formato "CSV (delimitado por comas) (*.csv)" para crear una nueva capa sin geometría en QGIS y unirla a la capa de trabajo (3_ SuRus_cul). Una vez la unión de las dos capas es realizada, para facilitar la gestión de datos, se incluyen nuevos campos a la tabla de atributos con la Calculadora de Campos. El primer campo a añadir ("Perdida") será la multiplicación del área afectada por el precio/unidad de superficie de cada tipo de cultivo, programando: 'area_afec*precio'. El siguiente campo de interés para completar la estimación es la suma de las pérdidas económicas por tipo de cultivo, es decir, cuántos euros se estima que se han perdido para cada cultivo (en función de su superficie) como eucaliptos, matorrales, etc. Para ello, se programa: sum ('perdida', group_by:= '_CC'), siendo _CC códigos de cultivo. En último lugar, y finalizando así la estimación de daños de la zona rústica, se crea el campo TOTAL, programando: sum(perdida), sin distinción de cultivos.

5.3.2 Estimación de las pérdidas urbanas



La superficie urbana del área afectada por el incendio forestal es ínfima si se compara con la superficie rústica.

El primer paso de la estimación es añadir al proyecto de QGIS las capas PARCELA_urb, que hace referencia, como su nombre indica, a las parcelas sin edificar que se encuentran en suelo urbano del municipio de Almonaster la Real (mapa de las parcelas en la ilustración 21). Como se observa, a lo largo de toda la geografía del municipio son muy pocas las parcelas urbanas.

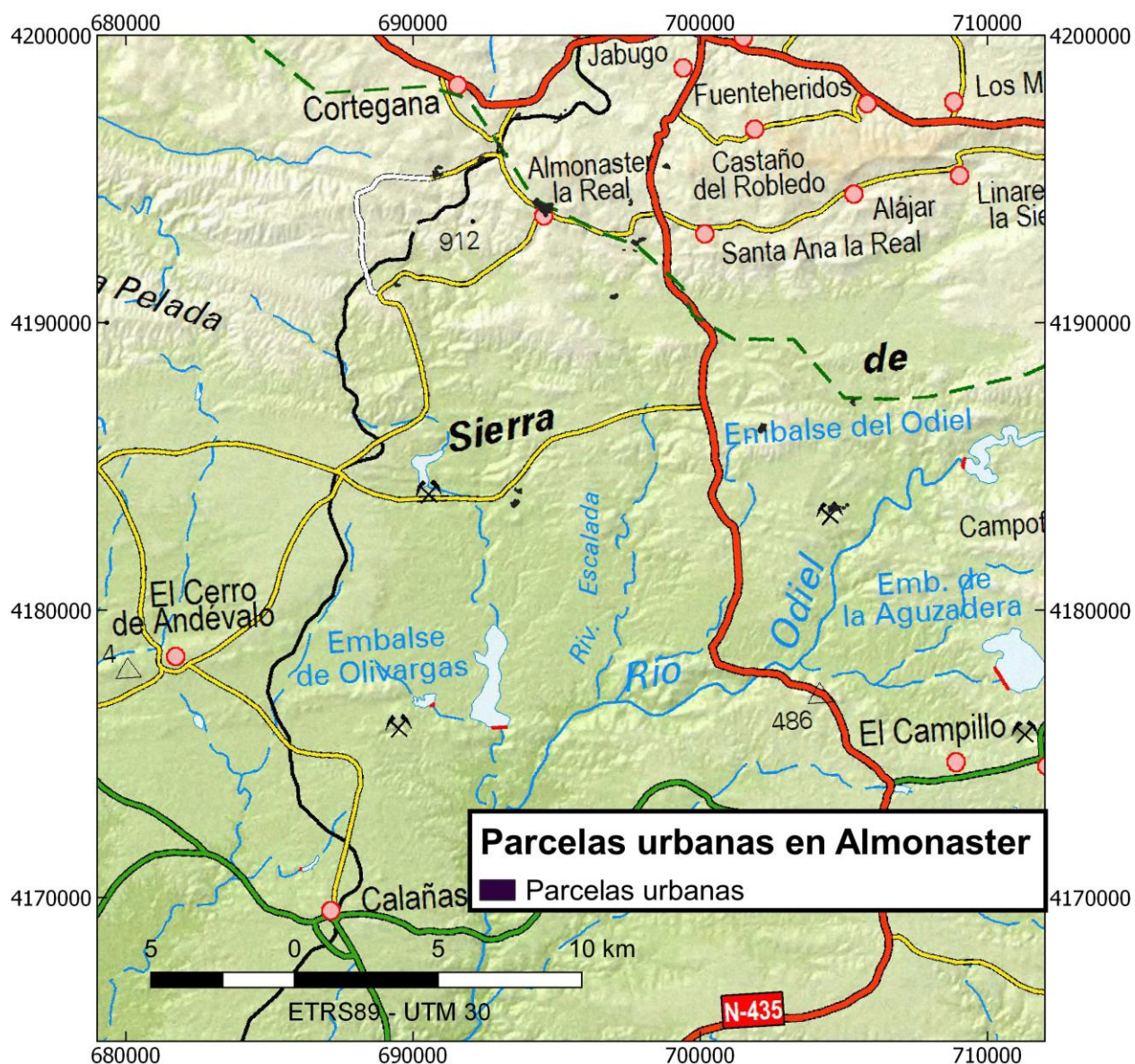


Ilustración 21. Parcelas urbanas dentro de Almonaster la Real sobre el fondo de WSM del mapa ráster del IGN.

Fuentes: <https://www.ign.es/wms-inspire/mapa-raster> ; <https://www.sedecatastro.gob.es/OVCInicio.aspx> ; https://emergency.copernicus.eu/mapping/ems-product-component/EMSR457_AOI01_DEL_MONIT01_r1_RTP01/2

Para continuar se necesita que solo se contemple el área afectada por el incendio. Para ello, se debe realizar la intersección con la capa obtenida del EMS, Copernicus (*observed event*), denominada "Hu_29 EMSR457_AOI01_DEL_MONIT01_observedEventA_r1_v2". La capa intersección resultante es 1_Inter_Urb. En la ilustración 22, se muestra la capa referente al incendio en superposición con la capa de las parcelas urbanas, mostrando así las parcelas afectadas.

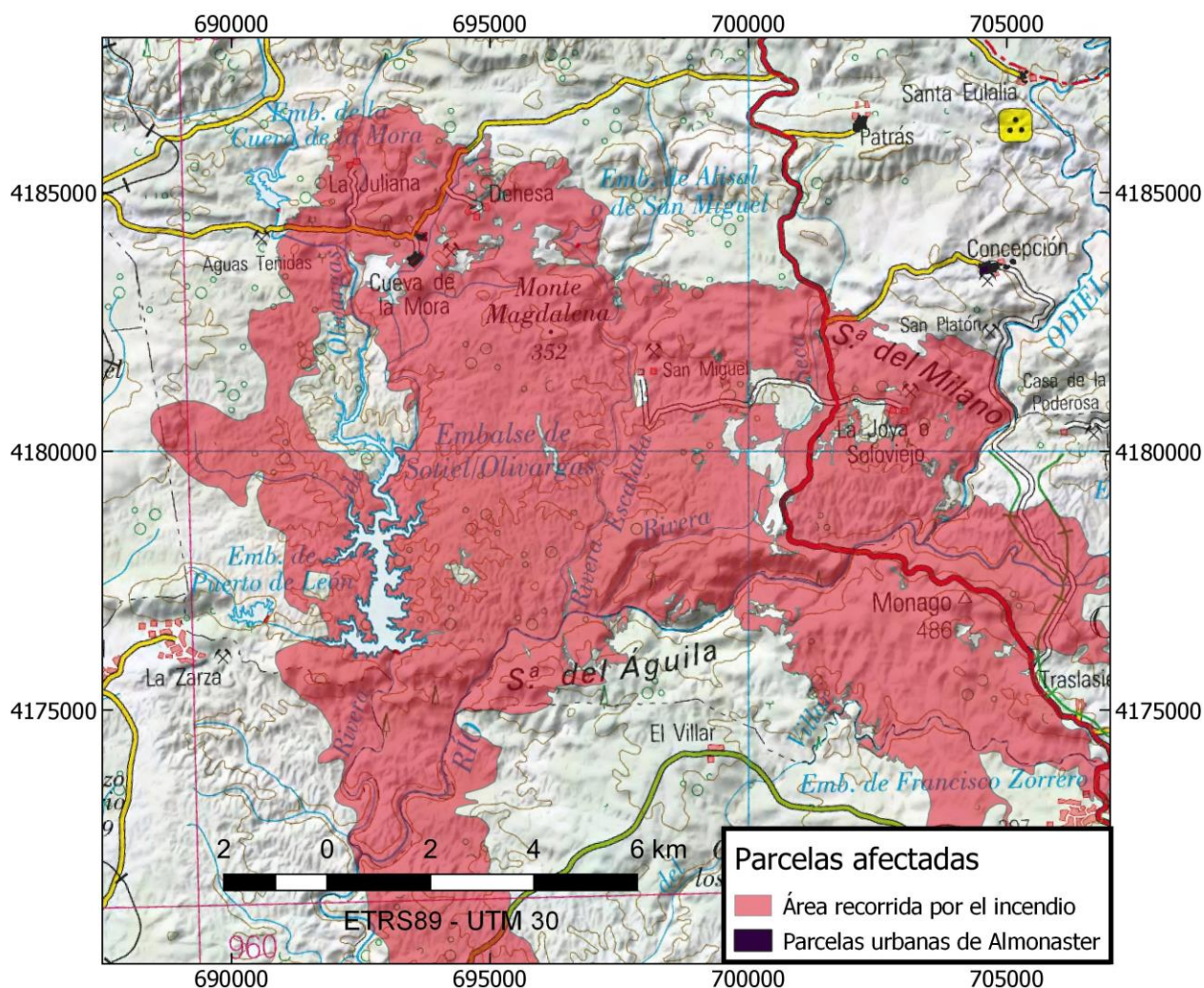


Ilustración 22. Parcelas urbanas afectadas por el incendio forestal en Almonaster la Real sobre el fondo de WSM del mapa ráster del IGN.

Fuente: <https://www.ign.es/wms-inspire/mapa-raster> ; <https://www.sedecatastro.gob.es/OVCInicio.aspx> ; https://emergency.copernicus.eu/mapping/ems-product-component/EMSR457_AOI01_DEL_MONIT01_r1_RTP01/2

Una vez están localizadas las parcelas urbanas afectadas, se debe conocer cuantitativamente el área en metros cuadrados afectada para poder calcular las pérdidas. Para conseguir el precio/m² de los solares se ha llevado una búsqueda en el portal web inmobiliario “Idealista” (54) que estima que el precio medio por metro cuadrado es de 117 €/m². No se adjunta ninguna ilustración de la búsqueda para proteger los datos de los titulares de los solares en venta.

Siguiendo con la estimación, al igual que en las subparcelas rústicas, es debido actualizar la tabla de atributos de la capa intersección, que tomaremos de referencia. En primer lugar, se crea con la Calculadora de Campos el campo “area_afe” usando el operador de geometría “\$area”, que aparecerá en la tabla de atributos en metros cuadrados. (ilustraciones 23 y 24)

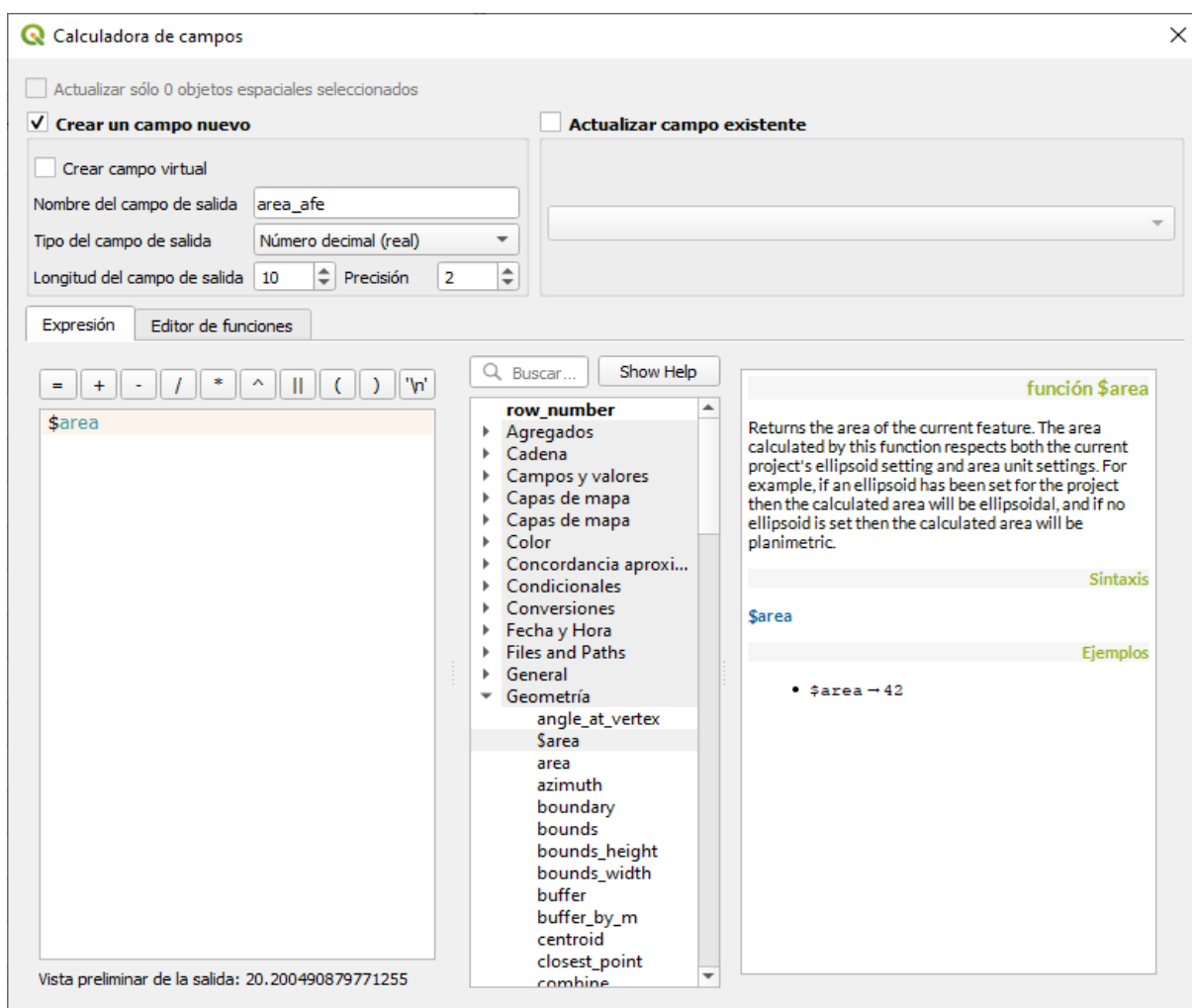


Ilustración 23. Calculadora de campos. Área afectada.

1_Inter_Urb :: Objetos totales: 124, Filtrados: 124, Seleccionados: 0

| nt_type | obj_desc | det_method | notation | dmg_src_id | area_1 | area_afe |
|---------|----------|---------------------|--------------------|------------|--------------------|----------|
| 1 | fire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 14429,4206900000 | 343,10 |
| 2 | fire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 14429,4206900000 | 242,88 |
| 3 | fire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 14429,4206900000 | 6,49 |
| 4 | fire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 14429,4206900000 | 18,91 |
| 5 | fire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 14429,4206900000 | 45,51 |
| 6 | fire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 14429,4206900000 | 84,99 |
| 7 | fire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 14429,4206900000 | 47,34 |
| 8 | fire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 14429,4206900000 | 91,73 |
| 9 | fire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 14429,4206900000 | 2,63 |
| 10 | fire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 14429,4206900000 | 22,09 |
| 11 | fire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 14429,4206900000 | 3,56 |
| 12 | fire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 14429,4206900000 | 162,08 |
| 13 | fire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 14429,4206900000 | 49,13 |
| 14 | fire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 14429,4206900000 | 40,68 |
| 15 | fire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 14429,4206900000 | 39,05 |
| 16 | fire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 14429,4206900000 | 1,80 |
| 17 | fire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 14429,4206900000 | 62,69 |
| 18 | fire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 14429,4206900000 | 7,88 |
| 19 | fire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 14429,4206900000 | 7,26 |
| 20 | fire | Land fire: Brush... | Photo-interpret... | Burnt area | 2 14429,4206900000 | 56,93 |

Mostrar todos los objetos espaciales

Ilustración 24. Tabla de atributos con campo “area_afe” incluido.

Solo falta, teniendo los metros cuadrados afectados, multiplicar por el precio. En el apartado referido a rústica, se tuvo que crear un libro de Excel con los precios por tipo de cultivo y por metro cuadrado debido a que existían varios tipos. En este caso, al ser todas las parcelas consideradas iguales en tipo, solo es necesario multiplicar 117 por el área afectada de cada parcela. Se muestra el proceso con la calculadora de campos en la ilustración 25. Las pérdidas totales son la suma de las pérdidas por parcela.

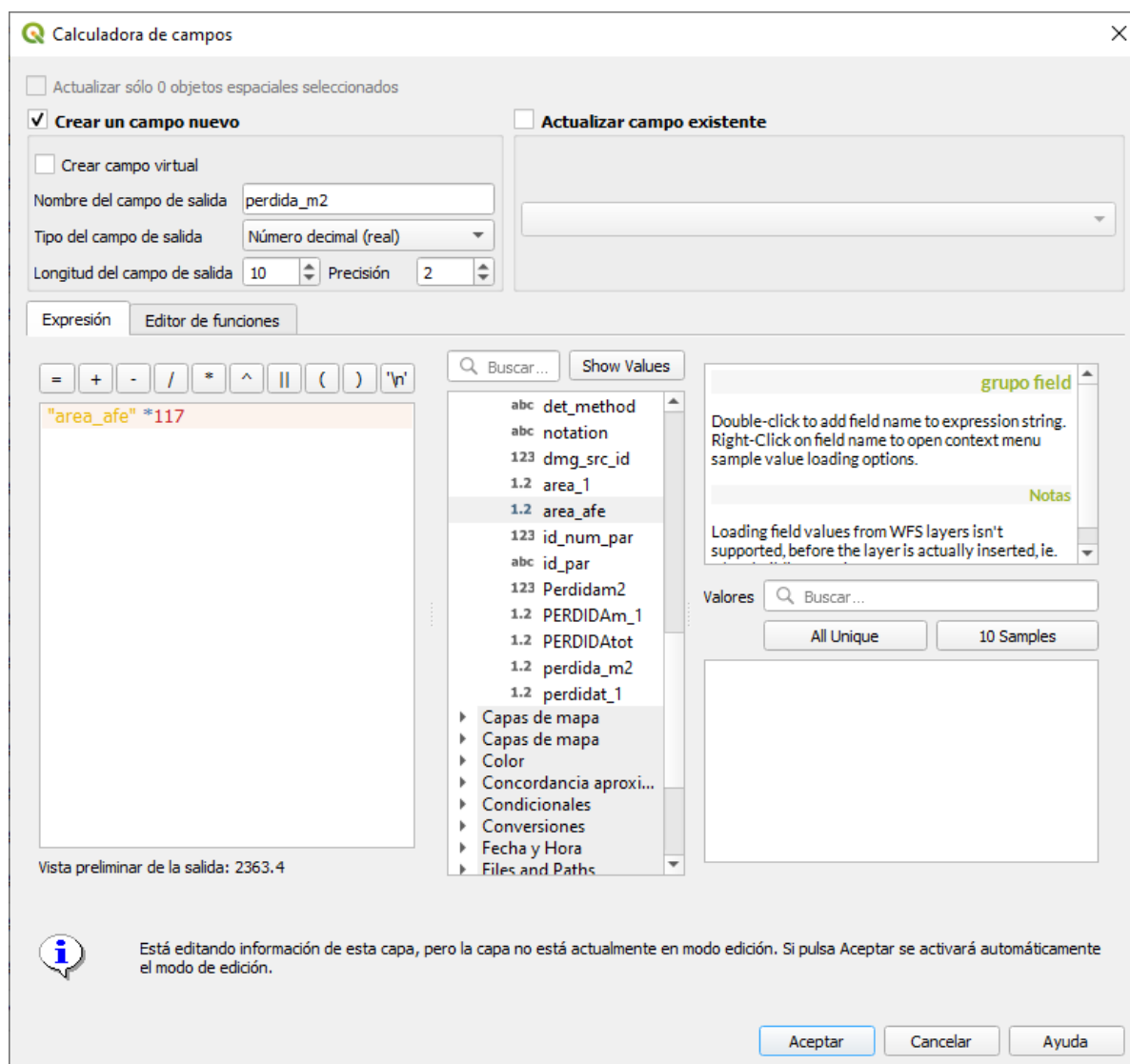
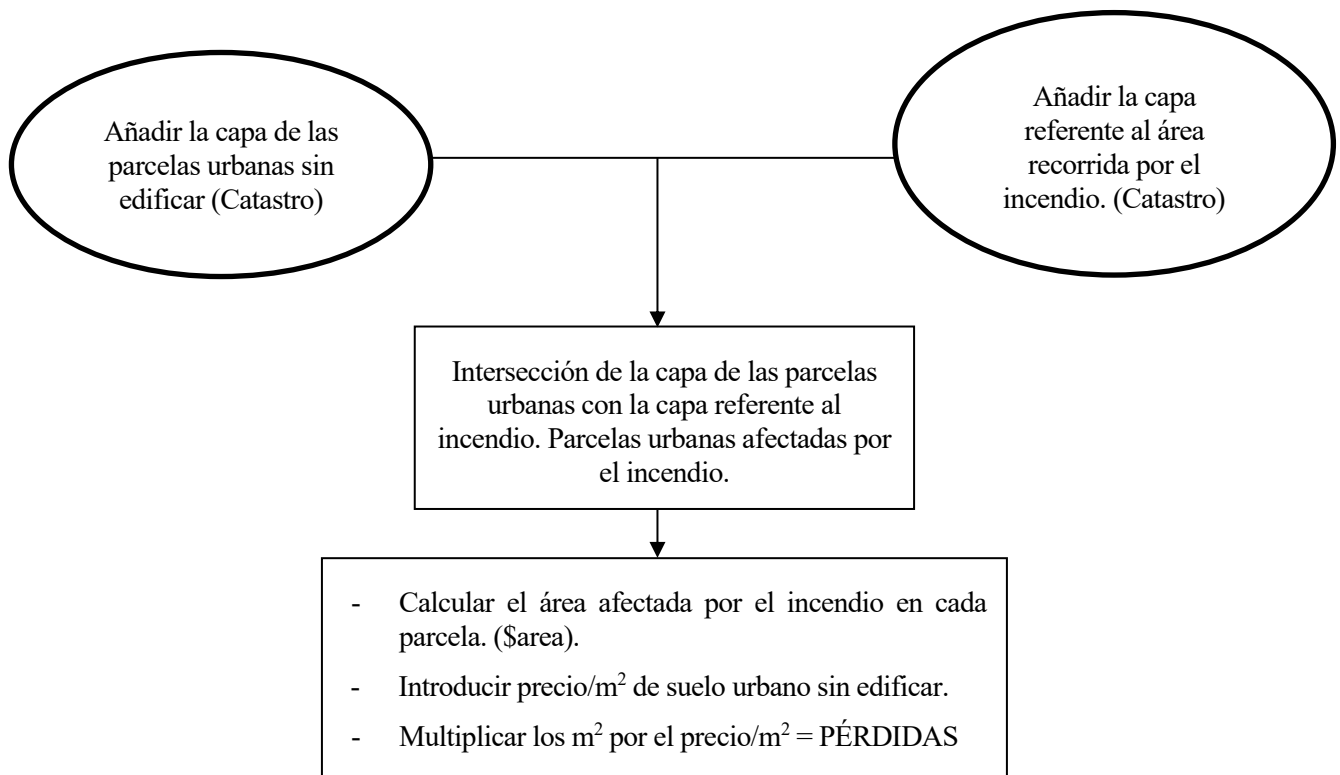


Ilustración 25. Operación para hallar las pérdidas por parcela urbana en la calculadora de campos.

5.3.3 Estimación de las pérdidas en construcciones urbanas



Dentro de las zonas urbanas encontramos, además de las parcelas, las construcciones. A través de la Sede Electrónica del Catastro (50) se obtiene la capa CONSTRU, en la que se encuentran todas las construcciones dentro del municipio de estudio: Almonaster la Real. Estas construcciones, a través de la tabla de atributos que observamos en QGIS, poseen el número de parcela a la que pertenecen y un tipo "CONSTRU" que informa sobre el número de plantas que posee un determinado edificio, o si no es una construcción residencial, identifica el tipo de uso que se le da (religioso, deportivo, jardines, entre otros). Para este estudio se entenderán todas como viviendas residenciales debido a que el alcance del trabajo no contempla el estudio de los precios/m² en función del uso que se le dé a la construcción. Se muestra la superposición de la capa de las construcciones de Almonaster con la capa referente al incendio (ilustración 26).

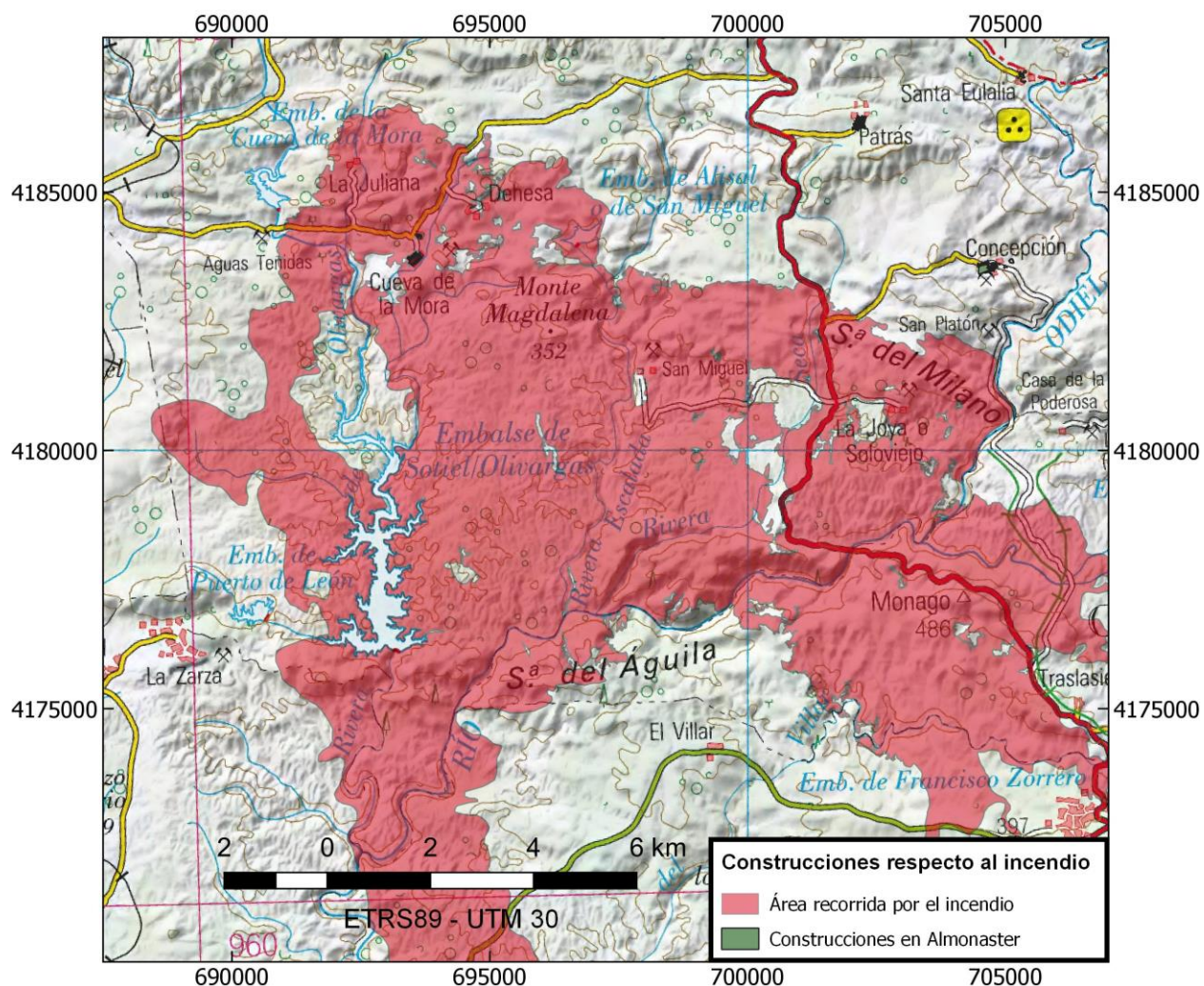


Ilustración 26. Mapa de la superposición de las construcciones urbanas de Almonaster con el área afectada por el incendio sobre el fondo de WSM del mapa ráster del IGN.

Fuente: <https://www.ign.es/wms-inspire/mapa-raster> ; <https://www.sedecatastro.gob.es/OVCInicio.aspx> ; https://emergency.copernicus.eu/mapping/ems-product-component/EMSR457_AOI01_DEL_MONIT01_r1_RTP01/2

Al igual que para las parcelas urbanas, en CONSTRU se ha obtenido el precio por metro cuadrado a través del portal inmobiliario “Idealista”(55). No se adjunta la ilustración de la búsqueda para proteger la identidad y los datos de los titulares de las residencias.

El incendio en estudio no afectó a todo el municipio de Almonaster. Este dato es importante debido a que el valor de la vivienda varía según la localización de esta. Idealista permite que se dibuje el área aproximada de búsqueda. En la ilustración 27 se observa la superficie en la que se ha calculado el precio medio del metro cuadrado.

5 casas y pisos en venta en tu zona dibujada

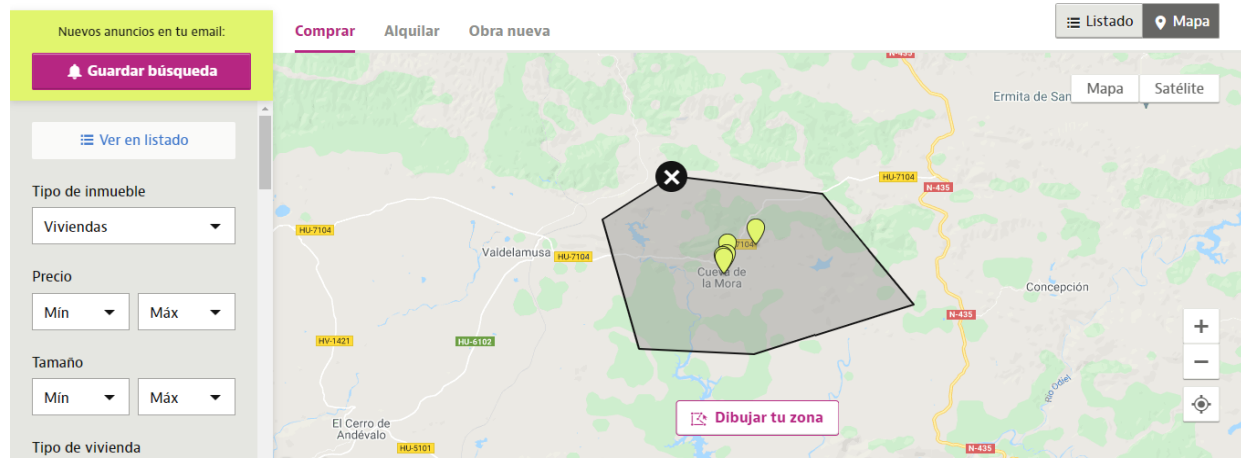


Ilustración 27. Trazado aproximado de la zona afectada por el incendio de Almonaster la Real.

Fuente: <https://www.idealista.com/areas/venta-viviendas/?shape=%28%28yueFllxh%40arAabD%7C%60%40aaJ%7CrEquE~%7DAnvJelJmGsvFxtA%29%29>

La zona de búsqueda se limita al núcleo residencial de Cueva de la Mora, aldea minera con 130 habitantes (57). Así, la web calcula que el precio medio por metro cuadrado en esa área es de 456 €/m², dato que sirve de referencia para calcular las pérdidas totales a través de QGIS.

El proceso de cálculo es similar al del área urbana, siendo el primer paso realizar la intersección de la capa CONSTRU con la capa del evento observado, el incendio (denominada 4_Inter_Constru). Puede observarse que se trata de la misma zona que en urbana, pero en este caso se refiere a los edificios y no a la parcela completa (ilustración 28).

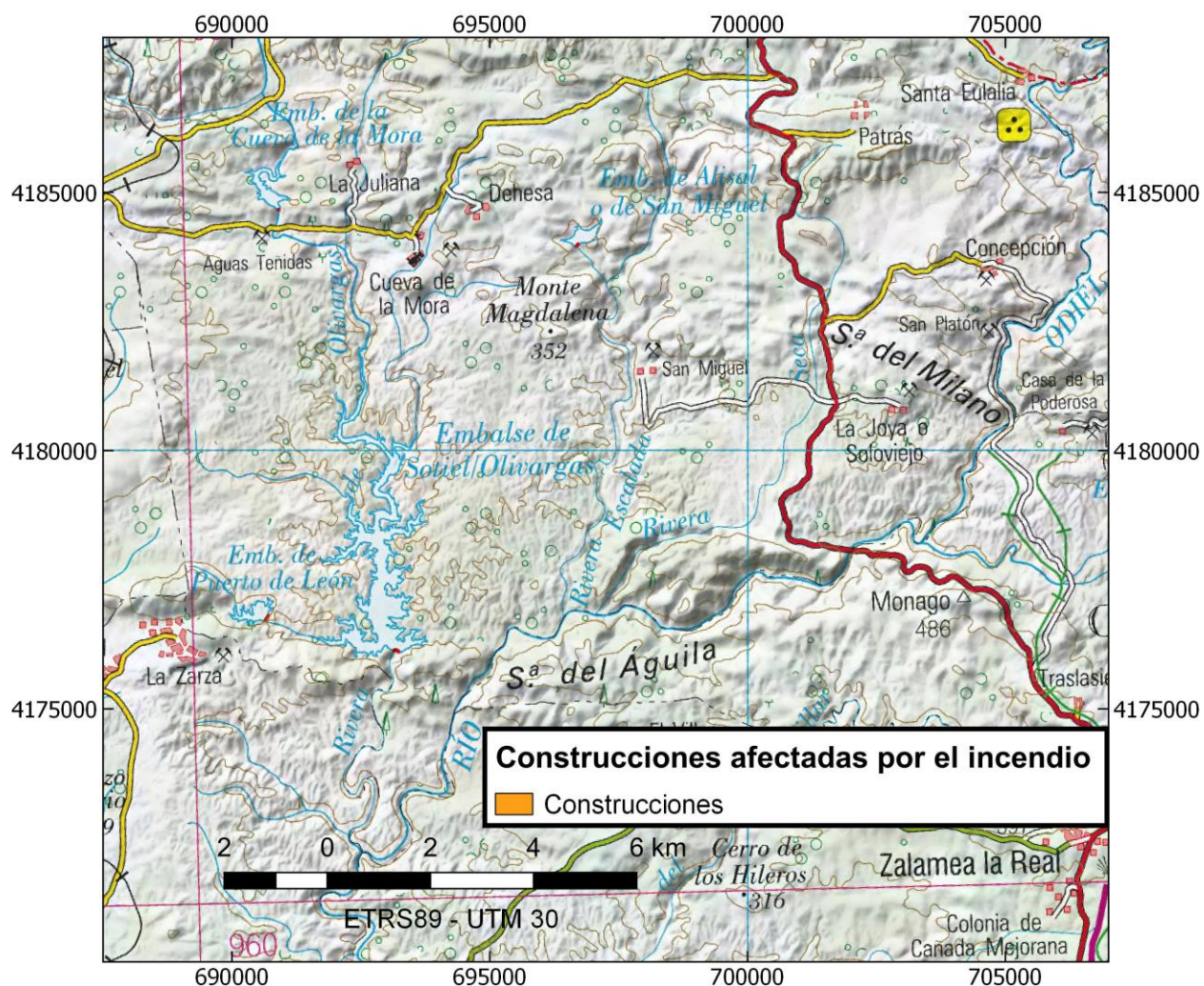


Ilustración 28. Mapa de las construcciones afectadas por el incendio en Almonaster la Real sobre el fondo de WSM del mapa ráster del IGN.

Fuente: <https://www.ign.es/wms-inspire/mapa-raster> ; <https://www.sedecatastro.gob.es/OVCInicio.aspx> ; https://emergency.copernicus.eu/mapping/ems-product-component/EMSR457_AOI01_DEL_MONIT01_r1_RTP01/2

Siguiendo el mismo procedimiento anterior, se crea el campo 'area_afe' en la tabla de atributos de la capa intersección para calcular los metros cuadrados afectados. La operación en la calculadora de campos es la misma que urbana (ilustración 23). A continuación, se introducen los campos de las pérdidas a la tabla, siendo estos las pérdidas por construcción y las pérdidas totales. Las pérdidas por construcción se calculan multiplicando el área afectada por el precio (456 €/m², y las totales realizando el sumatorio de las pérdidas por construcción. Se muestran ambas operaciones en las ilustraciones 29 y 30.

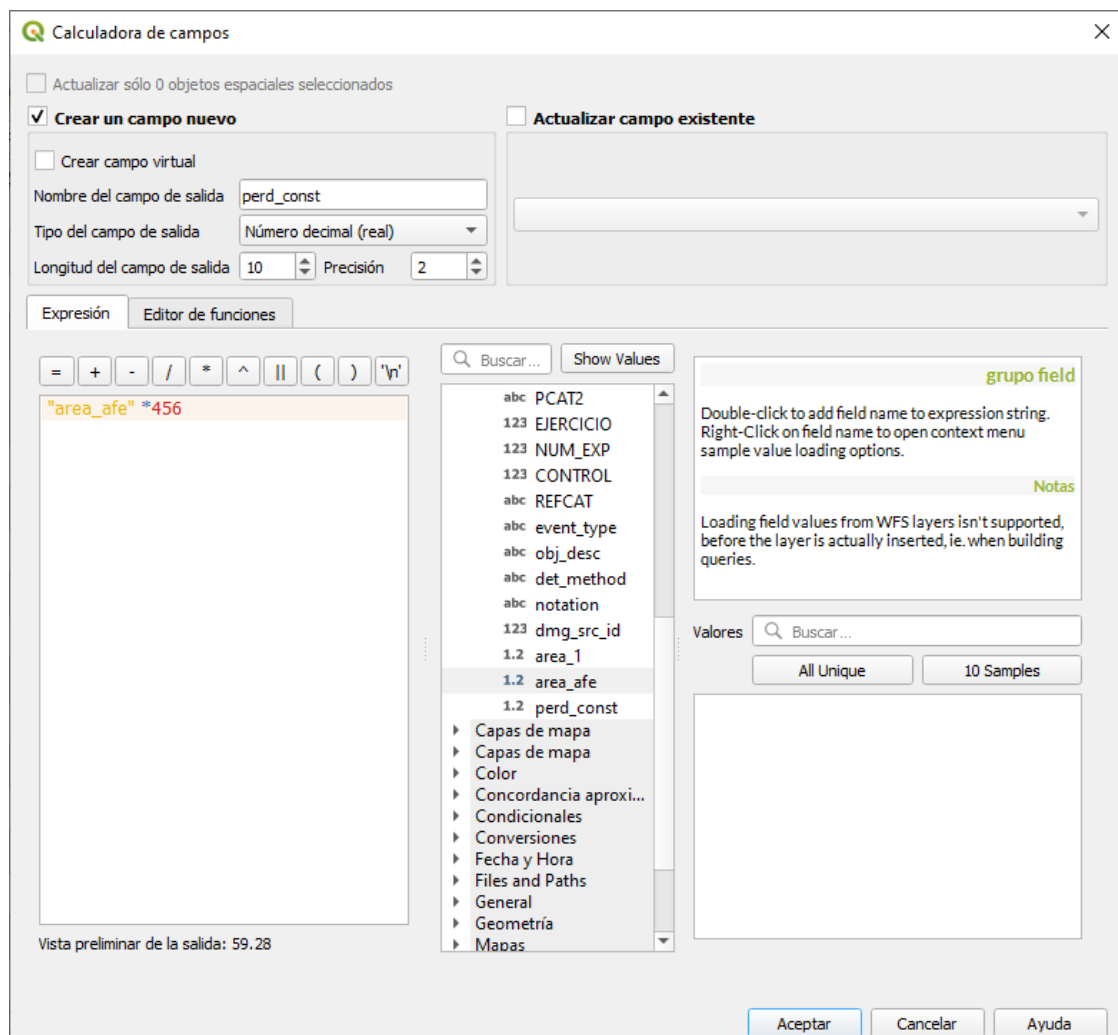


Ilustración 29. Procedimiento de cálculo de las pérdidas por construcción.

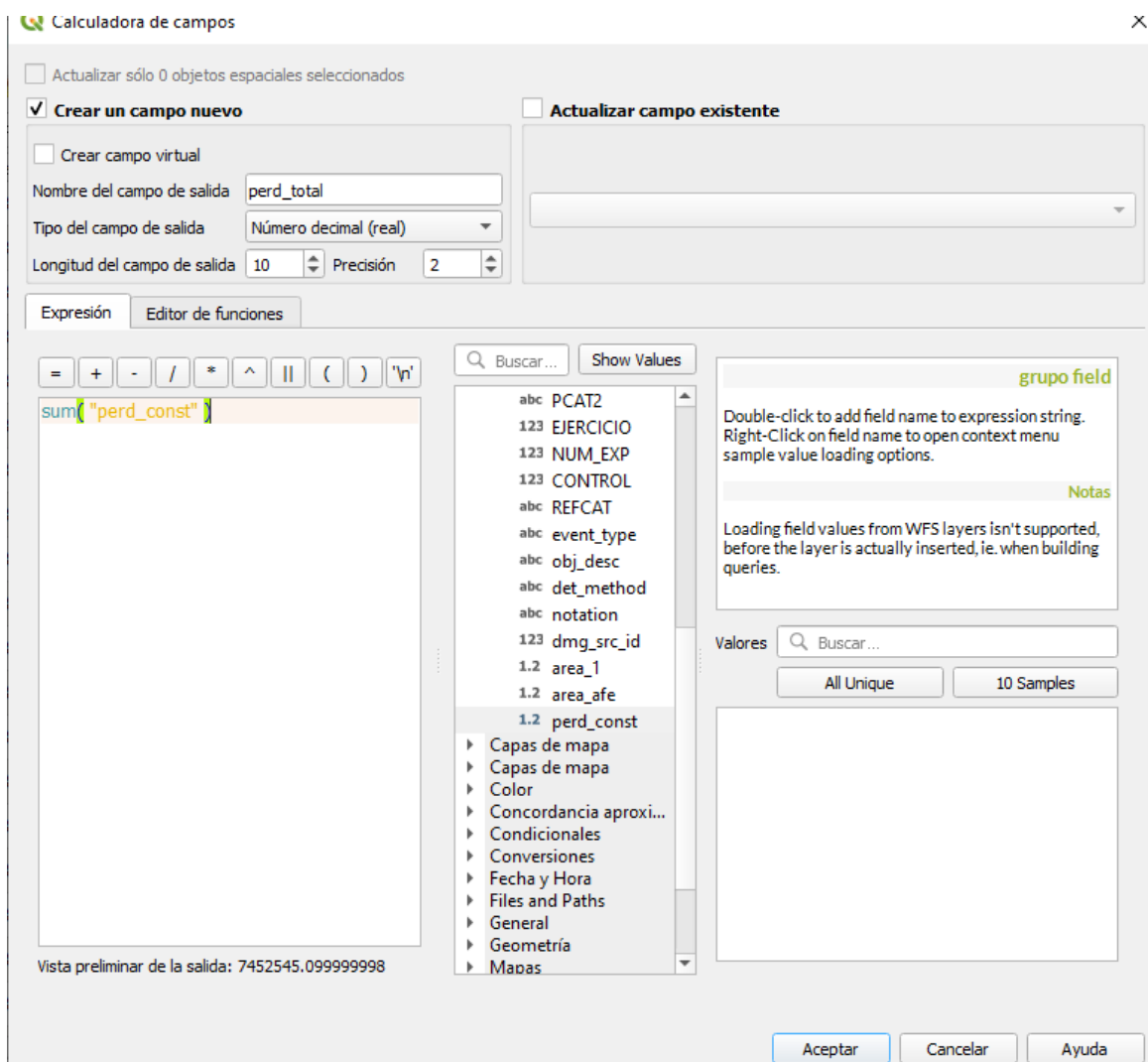


Ilustración 30. Procedimiento de cálculo del sumatorio de todas las pérdidas por construcción. Pérdidas totales.

5.4 Resultados.

Los resultados finales son la suma de las pérdidas rústicas, de las urbanas sin edificaciones y de las construcciones urbanas. En cuanto a las pérdidas rústicas, la tabla de atributos final, con todos los campos explicados, incluido el campo de las pérdidas totales, queda como se muestra en la ilustración 31.

3_SuRus_cul :: Objetos totales: 1932, Filtrados: 1932, Seleccionados: 0

| | a_afec | id_sub_rus | _CC | cult_DENOMINA | Perdida | TOTAL | tot_xcult |
|----|----------|------------------|-----|----------------------|----------|------------|-----------|
| 1 | 2469,5 | 21004A0040091... | O- | Olivos secano | 5926,8 | 44014326,8 | 9830,6 |
| 2 | 0,0 | 21004A0060004... | O- | Olivos secano | 0,0 | 44014326,8 | 9830,6 |
| 3 | 78,8 | 21004A0060004... | O- | Olivos secano | 189,1 | 44014326,8 | 9830,6 |
| 4 | 1,9 | 21004A0060004... | O- | Olivos secano | 4,6 | 44014326,8 | 9830,6 |
| 5 | 225,1 | 21004A0060004... | O- | Olivos secano | 540,2 | 44014326,8 | 9830,6 |
| 6 | 1320,8 | 21004A0060005... | O- | Olivos secano | 3169,9 | 44014326,8 | 9830,6 |
| 7 | 1418,4 | 21004A0070011... | C- | Labor o Labradío ... | 1461,0 | 44014326,8 | 946134,0 |
| 8 | 0,0 | 21004A0070011... | C- | Labor o Labradío ... | 0,0 | 44014326,8 | 946134,0 |
| 9 | 0,1 | 21004A0070011... | C- | Labor o Labradío ... | 0,1 | 44014326,8 | 946134,0 |
| 10 | 22827,6 | 21004A0070011... | C- | Labor o Labradío ... | 23512,4 | 44014326,8 | 946134,0 |
| 11 | 221359,0 | 21004A0070010... | C- | Labor o Labradío ... | 227999,8 | 44014326,8 | 946134,0 |
| 12 | 404,6 | 21004A0070003... | C- | Labor o Labradío ... | 416,7 | 44014326,8 | 946134,0 |
| 13 | 135374,1 | 21004A0070006... | C- | Labor o Labradío ... | 139435,3 | 44014326,8 | 946134,0 |
| 14 | 264,1 | 21004A0060008... | C- | Labor o Labradío ... | 272,0 | 44014326,8 | 946134,0 |
| 15 | 7941,0 | 21004A0060024... | C- | Labor o Labradío ... | 8179,2 | 44014326,8 | 946134,0 |
| 16 | 9569,4 | 21004A0060015... | C- | Labor o Labradío ... | 9856,5 | 44014326,8 | 946134,0 |
| 17 | 575,2 | 21004A0060012... | C- | Labor o Labradío ... | 592,5 | 44014326,8 | 946134,0 |
| 18 | 408,7 | 21004A0060012... | C- | Labor o Labradío ... | 421,0 | 44014326,8 | 946134,0 |
| 19 | 9308,9 | 21004A0060015... | C- | Labor o Labradío ... | 9588,2 | 44014326,8 | 946134,0 |
| 20 | 738,2 | 21004A0060011... | C- | Labor o Labradío ... | 760,3 | 44014326,8 | 946134,0 |

Ilustración 31. Tabla de atributos final. Ejemplo de las 20 primeras subparcelas.

En la tabla puede observarse que las pérdidas totales de tipo rústico ascienden a un total de **44.014.326,8 €**.

Las pérdidas por tipo de cultivo son:

- 26.316.144,2 para eucaliptus.
- 6.718.318,4 para matorral.
- 3.882.799,5 para pastos.
- 1.486.208,7 para pinar pinea o de fruto.
- 1.445.579,3 para encinar.
- 946.134,0 para labor o labradío secano.
- 857.459,1 para frutales de secano.
- 168.175,1 para alcornocal.

- 51.397,2 para castañar.
- 9.830,6 para olivos de seco.

El resto de los tipos de cultivo no han provocado pérdidas.

En referencia a las pérdidas urbanas sin edificaciones, en la ilustración 32 se muestra la pérdida total, que se calcula sumando todas las pérdidas por parcela. En conclusión, para urbana se perdió un total de **3.137.917,8 €**. A modo de reflexión, el resultado de las pérdidas urbanas es mucho menor que el de las pérdidas rústicas debido a que las parcelas urbanas afectadas por el incendio fueron muy pocas en comparación, a pesar de que el precio por unidad de superficie de urbana es mucho mayor. Es importante recalcar que el precio/m² de la zona urbana es un valor medio y aproximado, debido al alcance de este trabajo.

1_Inter_Urb :: Objetos totales: 124, Filtrados: 124, Seleccionados: 0

123 MAPA = Actualizar todo Actualizar lo seleccionado

| | notation | dmg_src_id | area_1 | area_afe | id_par | PERDIDAm2 | PERDIDAtot |
|----|----------|------------|------------------|----------|------------------|------------|------------|
| 1 | rnt area | 2 | 14429,4206900000 | 61,51 | 3840923PB9834... | 7196,670 | 3137917,8 |
| 2 | rnt area | 2 | 14429,4206900000 | 49,13 | 3840922PB9834... | 5748,210 | 3137917,8 |
| 3 | rnt area | 2 | 14429,4206900000 | 0,08 | 3840921PB9834... | 9,360 | 3137917,8 |
| 4 | rnt area | 2 | 14429,4206900000 | 0,13 | 3840920PB9834... | 15,210 | 3137917,8 |
| 5 | rnt area | 2 | 14429,4206900000 | 40,68 | 3840919PB9834... | 4759,560 | 3137917,8 |
| 6 | rnt area | 2 | 14429,4206900000 | 39,05 | 3840918PB9834... | 4568,850 | 3137917,8 |
| 7 | rnt area | 2 | 14429,4206900000 | 2,63 | 3840917PB9834... | 307,710 | 3137917,8 |
| 8 | rnt area | 2 | 14429,4206900000 | 1,80 | 3840917PB9834... | 210,600 | 3137917,8 |
| 9 | rnt area | 2 | 14429,4206900000 | 22,09 | 3840916PB9834... | 2584,530 | 3137917,8 |
| 10 | rnt area | 2 | 14429,4206900000 | 3,56 | 3840914PB9834... | 416,520 | 3137917,8 |
| 11 | rnt area | 2 | 14429,4206900000 | 0,01 | 3840906PB9834... | 1,170 | 3137917,8 |
| 12 | rnt area | 2 | 14429,4206900000 | 3778,62 | 3840905PB9834... | 442098,540 | 3137917,8 |
| 13 | rnt area | 2 | 14429,4206900000 | 63,19 | 3840905PB9834... | 7393,230 | 3137917,8 |
| 14 | rnt area | 2 | 14429,4206900000 | 25,70 | 3840904PB9834... | 3006,900 | 3137917,8 |
| 15 | rnt area | 2 | 14429,4206900000 | 44,07 | 3840903PB9834... | 5156,190 | 3137917,8 |
| 16 | rnt area | 2 | 14429,4206900000 | 23,40 | 3840902PB9834... | 2737,800 | 3137917,8 |
| 17 | rnt area | 2 | 14429,4206900000 | 77,94 | 3740803PB9834... | 9118,980 | 3137917,8 |
| 18 | rnt area | 2 | 14429,4206900000 | 85,62 | 3740802PB9834... | 10017,540 | 3137917,8 |
| 19 | rnt area | 2 | 14429,4206900000 | 160,80 | 3740801PB9834... | 18813,600 | 3137917,8 |

Mostrar todos los objetos espaciales

Ilustración 32. Tabla de atributos final para urbana.

Por último, las pérdidas de las construcciones urbanas son expuestas es la tabla de atributos final de dicho estudio (ilustración 33)

Q 4_Inter_Cons :: Objetos totales: 204, Filtrados: 204, Seleccionados: 0

123 MAPA = Actualizar todo Actualizar lo seleccionado

| | method | notation | dmg_src_id | area_1 | area_afe | perd_const | perd_total |
|----|--------------|------------|------------|------------------|----------|------------|------------|
| 1 | interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 98,17 | 53600,82 | 7452545,10 |
| 2 | interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 98,00 | 53508,00 | 7452545,10 |
| 3 | interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 96,53 | 52705,38 | 7452545,10 |
| 4 | interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 94,17 | 51416,82 | 7452545,10 |
| 5 | interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 9,50 | 5187,00 | 7452545,10 |
| 6 | interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 9,35 | 5105,10 | 7452545,10 |
| 7 | interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 9,25 | 5050,50 | 7452545,10 |
| 8 | interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 9,00 | 4914,00 | 7452545,10 |
| 9 | interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 87,30 | 47665,80 | 7452545,10 |
| 10 | interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 86,40 | 47174,40 | 7452545,10 |
| 11 | interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 86,10 | 47010,60 | 7452545,10 |
| 12 | interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 85,16 | 46497,36 | 7452545,10 |
| 13 | interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 85,00 | 46410,00 | 7452545,10 |
| 14 | interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 84,58 | 46180,68 | 7452545,10 |
| 15 | interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 83,87 | 45793,02 | 7452545,10 |
| 16 | interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 83,77 | 45738,42 | 7452545,10 |
| 17 | interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 80,14 | 43756,44 | 7452545,10 |
| 18 | interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 8,40 | 4586,40 | 7452545,10 |
| 19 | interpret... | Burnt area | 2 | 14429,4206900000 | 8,40 | 4586,40 | 7452545,10 |

Ilustración 33. Tabla de atributos final de las construcciones urbanas.

Tras realizar el sumatorio de todas las pérdidas por construcción, se concluye que la pérdida total en construcciones asciende a **7.452.545,10 €**.

Por tanto, el total de pérdidas económicas únicamente en el municipio de Almonaster la Real a causa del incendio forestal fue de aproximadamente **54.604.788,1 €**.

NOTA IMPORTANTE:

Es significativo aclarar que fueron varios los municipios afectados en el incendio, incluyendo entre ellos Zalamea la Real, La Zarza- El Perrunal (Badajoz), Valverde del Camino (tres urbanizaciones: Los Pinos, Los Campillos, y La Florida) y Calañas (descrito en el apartado 5.1), pero no se exploran ya que queda fuera de la envergadura del estudio. Se ha de tomar la cuantía obtenida de forma cautelosa ya que no se han aplicado las restricciones que se aplicarían en el ámbito real. Se trata de un ejercicio académico a modo de ejemplificar el método propuesto sin tener en cuenta factores como la ausencia de titularidad de los terrenos, tasaciones periciales, afecciones parciales de las superficies quemadas, etc. que pueden hacer diferir de manera sustancial los importes indemnizatorios a los que hubiera lugar por los sistemas de aseguramiento de los valores obtenidos en esta estimación.

6 CONCLUSIONES

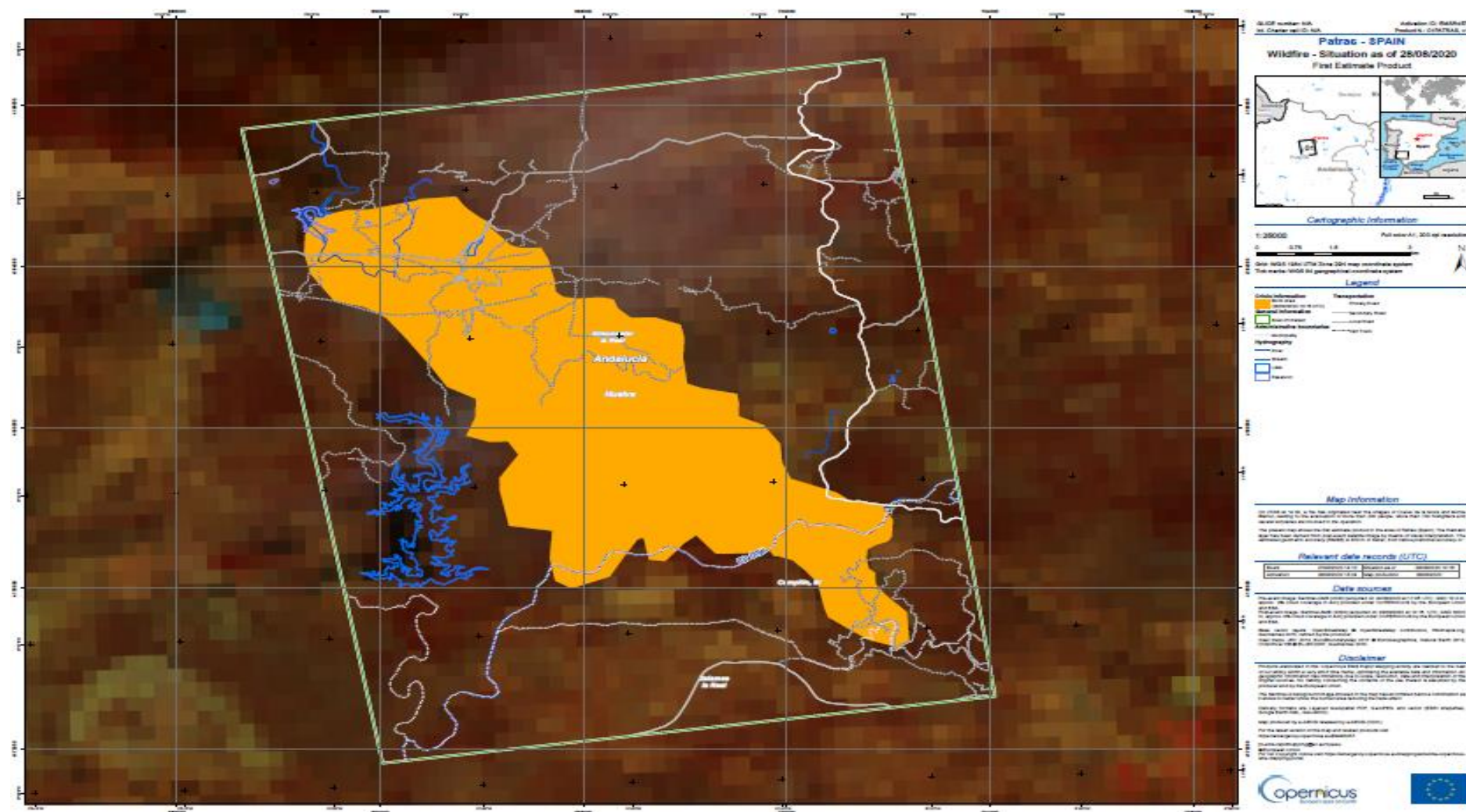
Durante el desarrollo del trabajo se ha podido demostrar la enorme potencialidad de las herramientas consideradas en el ámbito de la gestión de las emergencias.

Así, en primer lugar, la detección satelital y el empleo de Sistemas de Información Geográfica constituyen elementos indispensables para la actuación en tiempo real de los servicios de intervención, toda vez que permiten conocer con precisión el alcance y la evolución de la emergencia. En consecuencia, la toma de decisiones tendrá un sólido respaldo.

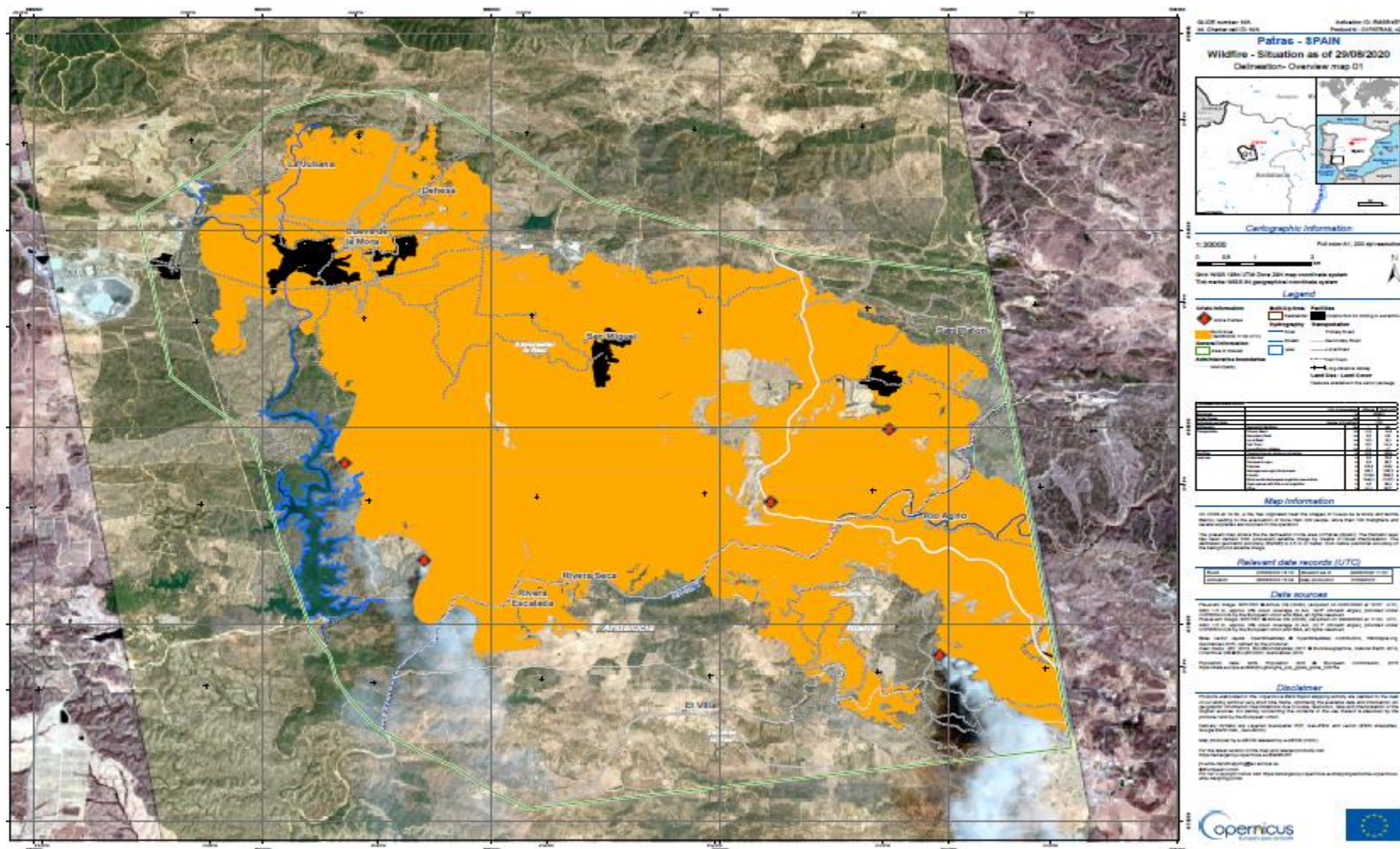
En segundo lugar, habiendo sido este el núcleo fundamental de desarrollo del trabajo, la utilización combinada de herramientas de la naturaleza de las consideradas posibilita acometer actuaciones tales como la evaluación automatizada de daños en áreas extensas afectadas por una emergencia. Con ello, se facilita la planificación de las actuaciones de restauración propias del ciclo de gestión de la emergencia.

Finalmente, metodologías como la presentada pueden tener un importante potencial para su empleo en escenarios de simulación, los cuales están esencialmente orientados a la estimación detallada de los factores caracterizadores del riesgo de emergencia y, de manera muy especial, la vulnerabilidad. Así, la identificación de los elementos especialmente vulnerables (en base a su potencial de pérdida) permitirá la adopción de una serie de medidas preventivas y de protección vinculadas a los mismos que disminuyan el valor global del riesgo para emergencias como la analizada.

Producto de Primera Estimación. Incendio de Almonaster la Real, en Huelva



Primer producto de Delineación. Incendio de Almonaster la Real, en Huelva





REFERENCIAS

1. Copernicus Programme. Atmosphere Monitoring Service.; 2016. Disponible en: https://www.copernicus.eu/sites/default/files/documents/Copernicus_AtmosphereMonitoring_Feb2017.pdf
2. Copernicus. CAMS Providers. Disponible en: <https://atmosphere.copernicus.eu/providers-view?q=providers>
3. CMEMS. Mercados azules apoyaos por el Servicio Marítimo Copernicus.; 2021. Disponible en: <https://marine.copernicus.eu/services/markets>
4. Copernicus Land Monitoring Service. Land Monitoring Service. Disponible en: <https://land.copernicus.eu/>
5. E.C.. Cómo prosperar en la época del campo climático.. Cinco Días. 15 Marzo 2021. Disponible en: https://cincodias.elpais.com/cincodias/2021/03/09/extras/1615291692_249155.html
6. European Union Agency. Agencia Europea de Guardia de Fronteras y Costas.; 2021. Disponible en: <https://frontex.europa.eu/>
7. CMS Service. European Maritime Safety Agency.; 2018. Disponible en: <http://www.emsa.europa.eu/newsroom/infographics/item/3357-cms-service.html>
8. Copernicus SEA. Servicio Copernicus de Apoyo a la Acción Exterior de la UE.; 2021. Disponible en: <https://sea.security.copernicus.eu/about-copernicus-sea/>
9. ESA, The European Space Agency. Misiones Sentinel. Disponible en: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1>
10. European Union. Rapid Mapping Copernicus EMS.; 1995-2021. Disponible en: <https://emergency.copernicus.eu/mapping/ems/rapid-mapping-portfolio>
11. European Union. Risk and Recovery Mapping Portfolio, Copernicus EMS.; 1995-2021. Disponible en: <https://emergency.copernicus.eu/mapping/ems/risk-and-recovery-mapping-portfolio#Portfolio%20risk%20and%20recovery%20STD>

12. Copernicus In Situ. Emergency- Early Warnings. Disponible en:
https://insitu.copernicus.eu/FactSheets/CEMS_Early_Warning#:~:text=Early%20Warning%20Component,as%20%E2%80%9Cin%20situ%E2%80%9D%20data
13. Copernicus EMS. European Flood Awareness System. Data access.; 2021. Disponible en:
<https://www.efas.eu/en/data-access>
14. Copernicus Programme. EFFIS- Technical Background.; 2021. Disponible en:
<https://effis.jrc.ec.europa.eu/about-effis/technical-background>
15. JRC, European Commission. EDO Partner Network. European Drought Observatory.; 2021. Disponible en: <https://edo.jrc.ec.europa.eu/edo2/php/index.php?id=1003>
16. Copernicus. Descripción del Observatorio Europeo de la Sequía.; 2021. Disponible en:
<https://www.copernicus.eu/es/observatorio-europeo-de-la-sequia>
17. Tracasa. Validación de cartografía del Servicio de Gestión de Emergencias de Copernicus.; 2017. Disponible en: <https://www.copernicus.eu/es/observatorio-europeo-de-la-sequia>
18. European Union. How to use the service. Copernicus EMS- Mapping.; 1995-2021. Disponible en:
<https://emergency.copernicus.eu/mapping/ems/how-use-service>
19. UN-SPIDER Knowledge Portal. Servicio Cartográfico en caso de emergencias. Copernicus GIO. Disponible en:
<https://www.un-spider.org/es/aplicaci%C3%B3n-espacial/mecanismos-de-emergencia/copernicus-gio-servicio-cartogr%C3%A1fico-en-caso-de-emergencias>
20. Universidad Politécnica de Madrid, UPM. Introducción a los Sistemas de Información geográfica. Youtube.; 2017. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=mLxltgnquTQ>
21. Universidad Politécnica de Madrid, UPM. Concepto y evolución de los SIG. Youtube; 2017. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=TNEOMnau1gI>
22. Aeroterra & ESRI. Historia de SIG. Sistemas de Información Geográfica. Aeroterra S.A.. Disponible en:
<https://www.aeroterra.com/es-ar/que-es-gis/historia-de-gis#:~:text=El%20campo%20de%20los%20sistemas,de%20geograf%C3%ADa%20cuantitativa%20y%20computacional.&text=Estos%20esfuerzos%20impulsaron%20una%20revoluci%C3%B3n,sentaron%20las%20bases%20de%20SIG>
23. Hurtado. M.Á. Componentes de un Sistema de Información Geográfica (SIG). Geoinnova Formación.; 2017. Disponible en:
<https://geoinnova.org/cursos/componentes-sistema-informacion-geografica-sig/>

24. Díaz JRM. Estudio comparativo entre SIG propietario y SIG libre. [Internet]. Universidad de Gerona; Disponible en: https://dugi-doc.udg.edu/bitstream/handle/10256/1165/JRamonMesa_Art.pdf?sequence=1&isAllowed=y
25. ArcGIS Resource Center. ¿Qué es ArcGIS? *Software* SIG. Disponible en: <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>
26. GIS y su entorno de desarrollo.
Disponible en: <https://www.usmp.edu.pe/publicaciones/boletin/fia/info18/gis.htm>
27. Asulgis. *Software* GIS. Disponible en: <https://www.asulgis.com/arcgis/software-gis/>
28. Wheatley J. La incesante parcha de la tecnología geoespacial y lo que significa para Smallworld GIS; 2021. Disponible en: <https://www.ge.com/digital/tech/relentless-march-geospatial-technology-and-what-it-means-smallworld-gis>
29. Junta de Andalucía. GvSIG. Sistema de Información Geográfica Corporativo.
Disponible en: <http://www.juntadeandalucia.es/servicios/madeja/contenido/recurso/8>
30. Morales RC. QGIS. Conocimientos básicos imprescindibles para utilizar el programa.
Disponible en: http://www.edeca.una.ac.cr/images/Sig2-2020/QGIS/LECTURA_1.pdf
31. Vázquez-Rodríguez R. Uso de sistemas de información geográfica libres para la protección del medio ambiente. Caso de estudio: manipulación de mapas ráster con datos climáticos. Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas; 2017. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/322104174_USO_DE_SISTEMAS_DE_INFORMACION_GEOGRAFICA_LIBRES_PARA_LA_PROTECCION_DEL_MEDIO_AMBIENTE_CASO_DE_ESTUDIO_MANIPULACION_DE_MAPAS_RASTER_CON_DATOS_CLIMATICOS
32. Acerca de PostGIS. Disponible en: <https://postgis.net/>
33. Nosolosig. La importancia de los SIG. Disponible en: <https://www.nosolosig.com/video/item/la-importancia-de-los-sig>
34. A. La importancia de los SIG. IGNUS Community Blog; 2012. Disponible en: <https://www.ignuscommunity.com/blog/la-importancia-de-los-sig/>
35. Ingeniería Sin Fronteras. Algunas aplicaciones de los SIG. La importancia de los SIG; 2015.
Disponible en: <https://www.isf.es/2015/04/24/algunas-aplicaciones-de-los-sig/>

36. Imasgal. Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica;; 2019. Disponible en:
<https://imasgal.com/aplicaciones-sistemas-informacion-geografica/>

37. Huerta Rodríguez JC, Morea Rodriguez ML.Sistemas de Información Geográfica (SIG). [Ponencia].Disponible en:
https://administracionelectronica.gob.es/pae_Home/dam/jcr:3440992b-44ec-4240-8000-ac0a502ffb56/Ponencia_130.pdf

38. Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Aplicaciones QGIS. Disponible en:
<https://qgis.org/es/site/about/features.html>

39. Mancomun. QGIS: Solución de Sistema de Información Geográfica con Software Libre. 2018. Disponible en: <https://www.mancomun.gal/es/artigo-tic/qgis-solucion-de-sistema-de-informacion-xeografica-con-software-libre/>

40. Veracruzana. U. Manual operativo para la utilización del sistema de información geográfica Quantum GIS. Coordinación Universitaria de Observatorios Metropolitanos; Disponible en:
<https://www.uv.mx/cuo/files/2013/05/Manual-QGIS-CUOM.pdf>

41. QGIS. Sistema de coordenadas de referencia. Disponible en:
https://docs.qgis.org/2.14/es/docs/gentle_gis_introduction/coordinate_reference_systems.html

42. Junta de Andalucía. El Consejo de Gobierno analiza el informe del Plan Infoca sobre el incendio de Almonaster la Real. Noticias la Junta Andalucía. 2020; Disponible en:
<http://www.juntadeandalucia.es/presidencia/portavoz/tierraymar/154352/consejodegobierno/agricultura-ganaderiapescaydesarrollosostenible/incendiodealmonaster/planinfoca/geolocalizadores/viasatelite/riotinto/donana>

43. Europa press. Extinguido el incendio forestal de Almonaster (Huelva). Disponible en:
<https://www.europapress.es/andalucia/huelva-00354/noticia-extinguido-incendio-forestal-almonaster-huelva-20200907214346.html>

44. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible, Junta de Andalucía. La Junta activará un plan para llevar a cabo una recuperación ambiental “de vital importancia” tras el incendio de Almonaster. 2020. Disponible en:
https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/landing-page-noticia/-/asset_publisher/XYiggbz580YL/content/la-junta-activar-c3-a1-un-plan-para-llevar-a-cabo-una-recuperaci-c3-b3n-ambiental-de-vital-importancia-tras-el-incendio-de-almonaster/20151?categoryVal=

45. EMS, Copernicus. EMSR457: Forest Fire in Almonaster La Real, Spain. Activación del incendio; 2020. Disponible en: <https://emergency.copernicus.eu/mapping/list-of-components/EMSR457>

46. Copernicus E. Producto de Primera Estimación del incendio de Almonaster la Real, Huelva. 2020.
Disponible en:
https://emergency.copernicus.eu/mapping/system/files/components/EMSR457_AOI01_FEP_PRODUCT_r1_RTP01_v1.pdf
47. Copernicus E. Primer producto de delineación del incendio de Almonaster la Real, Huelva. 2020.
Disponible en:
https://emergency.copernicus.eu/mapping/system/files/components/EMSR457_AOI01_DEL_PRODUCT_r1_RTP01_v2.pdf
48. Copernicus E. Segundo producto de delineación del incendio de Almonaster la Real, Huelva. 2020.
Disponible en:
https://emergency.copernicus.eu/mapping/system/files/components/EMSR457_AOI01_DEL_MONIT01_r1_RTP01_v2.pdf
49. Copernicus E. Producto de calificación del incendio de Almonaster la Real, Huelva. 2020. Disponible en:
https://emergency.copernicus.eu/mapping/system/files/components/EMSR457_AOI01_GRA_PRODUCT_r1_RTP01_v2.pdf
50. Ministerio de Hacienda. Usos y utilidades. Disponible en:
http://www.catastro.meh.es/esp/usos_utilidades.asp
51. Ministerio de Hacienda. Productos catastrales. Disponible en:
<http://www.catastro.minhap.gob.es/esp/productos.asp>
52. Ministerio de Hacienda. La referencia catastral .
Disponible en: http://www.catastro.meh.es/esp/referencia_catastral.asp
53. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible J de A. Encuesta anual de precios de la tierra .Disponible en:
<https://www.juntadeandalucia.es/organismos/agriculturaganaderiapescaydesarrollosostenible/servicios/estadistica-cartografia/estadisticas-agricolas/paginas/encuesta-anual-precios-tierra.html>
54. Idealista. Terrenos en venta en Almonaster la Real, Huelva. Disponible en
<https://www.idealista.com/venta-terrenos/almonaster-la-real-huelva/>
55. Idealista. Venta de viviendas en Almonaster la Real, Huelva. Disponible en:
<https://www.idealista.com/areas/venta-viviendas/?shape=%28%28yiueFlIxxh%40arAabD%7C%60%40aaJ%7CrEquE~%7DAnvJeJjmGsvFxtA%29%29>

56. Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico. Vicepresidencia Cuarta del Gobierno. Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3) [Internet]. Available from: <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/ifn3.aspx>
57. Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía. Núcleos de población de Almonaster la Real (Huelva). Disponible en: <https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/sima/nucleos.htm?CodMuni=21004>